DIE NATURWISSENSCHAFTEN

BEGRÜNDET VON A. BERLINER UND C. THESING

UNTER MITWIRKUNG VON

J. BARTELS E. BEDERKE H. BROCKMANN P. TEN BRUGGENCATE C. W. CORRENS H. v. FICKER R. GRAMMEL O. HAHN R. HARDER M. HARTMANN W. HEISENBERG A. KÜHN M. v. LAUE H. MARTIUS R. W. POHL H. REIN E. SCHMIDT

HERAUSGEGEBEN VON

ARNOLD EUCKEN

ORGAN DER MAX PLANCK-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

36. JAHRGANG HEFT 7 (193—224) 1949

INHALT:

Die Entdeckung des menschlichen Zwischenkiefers durch Goethe und Oken. Von M. Pfannenstiel 193

Die Integrieranlage IPM-Ott für gewöhnliche Differentialgleichungen. Von A. Walther und H.-J. Dreyer. 199

Die Flammengeschwindigkeit in stationär brennenden Flammen. (Fortsetzung und Schluß.) Von E. Bartholomé. 206

Berichte.

Turmteleskope. (Fortsetzung und Schluß.) Von H. Gollnow. 213

Kurze Originalmitteilungen.

Zur Frage der wirksamen Komponente von Ultraschall. Von O. A. Angerer 217

Der Deuteriumgehalt des freien Wasserstoffs in der Erdatmosphäre. Von P. Harteck und H. E. Sueß. 218

Flammenspektren mit Stickoxyd als Verbrennungspartner. Von H. Behrens und F. Rössler. 218

Papierchromatographie von α-Ketosäuren. Von Th. Wieland und E. Fischer. 219

Stellungnahme zur Erwiderung Prof. Dr. W. Siedels auf meine Diskussionsbemerkung. Von H. v. Dobeneck. 219

Antwort auf die „Diskussionsbemerkung" Dr. v. Dobenecks. Von W. Siedel. 219

Über Plasmon-inducierte Genlabilität. Von P. Michaelis. 220

Besprechungen.

Jaspers, K., Philosophie. (Ref.: E. Bünning) 221

Cremer, L., Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik. (Ref.: A. Schoch) 221

Bratzler, K., Adsorption von Gasen und Dämpfen in Laboratorium und Technik. (Ref.: W. Hunsmann) 222

Kortüm, G., Kolorimetrie und Spektralphotometrie. (Ref.: Th. Förster) 222

Eistert, B., Chemismus und Konstitution. (Ref.: Th. Förster) 222

Richter, R., Einführung in die Zoologische Nomenklatur. (Ref.: H.-J. Autrum) 223

Kappert, H., Die vererbungswissenschaftlichen Grundlagen der Pflanzenzüchtung. (Ref.: P. Michaelis) 223

Bünning, E., Entwicklungs- und Bewegungsphysiologie der Pflanze. (Ref.: H. Söding) 224

Ausgegeben im August 1949.

Etwa im September erscheint:

FORTSCHRITTE DER BOTANIK

Herausgegeben von

E. Gaumann *Zürich* und **O. Renner** *München*

Zwölfter Band. *Mit etwa 40 Abbildungen. Etwa 350 Seiten. Etwa DMark 38,-.*

Inhaltsübersicht:
Morphologie und Entwicklungsgeschichte der Zelle. Von L. Geitler. - Morphologie einschließlich Anatomie. Von W. Troll und H. Weber. - Entwicklung und Fortpflanzung. Von O. Jaak. - Sublichtmikroskopische Morphologie. Von A. Frey-Wyssling. Systematische und genetische Pflanzengeographie. Von F. Firbas. - Ökologische Pflanzengeographie. Von Hch. Walter. - Physikalisch-chemische Grundlagen der biologischen Vorgänge. Von E. Bünning. Unter Mitarbeit von W. Simonis. - Wasserumsatz und Stoffbewegung. Von B. Huber. - Mineralstoffwechsel. Von H. Burgström. - Stoffwechsel organischer Verbindungen I. (Photosynthese). Von A. Pirson. - Stoffwechsel organischer Verbindungen II. Von K. Paech. - Wachstum u. Bewegung. Von H. Guttenberg.

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

erscheinen vorerst etwa halbmonatlich und können durch jede Sortimentsbuchhandlung bezogen werden. Preis für 12 Hefte mit zusammen etwa 24 Druckbogen 24,— Mark, für das einzelne Heft 2,50 Mark zuzüglich Postgebühren.

Nachdruck: Der Verlag behält sich das ausschließliche Recht der Vervielfältigung und Verbreitung aller in dieser Zeitschrift zum Abdruck gelangenden Beiträge sowie ihrer Verwendung für fremdsprachliche Ausgaben vor.

Sonderdrucke: Den Verfassern von Originalbeiträgen und Kurzen Originalmitteilungen stehen 75 Exemplare kostenfrei zur Verfügung.

Anzeigen werden vom Springer-Verlag, Berlin-Charlottenburg 2, Jebensstraße 1, angenommen. Die Preise wolle man unter Angabe der Größe und des Platzes erfragen.

Springer-Verlag

Berlin-Charlottenburg 2 Jebensstraße 1 — **Göttingen** Weender Straße 60

Redaktionelle Hinweise.

I. Allgemeines.

1. Bei der Einsendung von Manuskripten an „Die Naturwissenschaften" bittet die Redaktion die Herren Autoren, stets im Auge zu behalten, daß die Zeitschrift in erster Linie den Wünschen und Interessen des weiten Kreises ihrer Leser zu dienen hat und daß daher ihnen gegenüber Sonderwünsche der Herren Autoren in bezug auf Inhalt, Form und Umfang ihrer Veröffentlichungen zurücktreten müssen, falls die Redaktion dies für erforderlich hält.

2. Vor allem bittet die Redaktion, von der Einsendung von Aufsätzen Abstand zu nehmen, die nur für einen eng begrenzten Leserkreis verständlich und von Interesse sind, und die daher in einer Fachzeitschrift ihren richtigen Platz haben. Ausnahmen bilden knapp gefaßte Schilderungen der Ergebnisse eben fertiggestellter Arbeiten: für diese ist die Rubrik „K.O.M." („Kurze Originalmitteilungen") vorgesehen. Wegen Platz- und Papiermangels sind allerdings auch hier gewisse Einschränkungen nötig. In bezug auf den Inhalt: Angenommen werden können nur wirklich wichtige Arbeiten (z. B. keine bloßen Analogiearbeiten). In bezug auf den Umfang: Im Durchschnitt kann für eine einzelne K.O.M. nur der Raum einer Spalte (etwa 1000 Silben) zur Verfügung gestellt werden.

3. Autoren, namentlich solche, welchen die Gepflogenheiten bei Veröffentlichungen in den „Naturwissenschaften" noch nicht bekannt sind, werden gebeten, in die ausführlichere Darstellung der allgemeinen redaktionellen Richtlinien Einblick zu nehmen, welche in Heft 1 des 33. Jahrgangs abgedruckt sind. Ergänzend sei hier bemerkt, daß die Rubrik „Tagesnotizen" in Zukunft nicht fortgeführt wird, daß also Einsendungen für diese zwecklos sind.

II. Spezielle Hinweise.

Alle Sendungen und Zuschriften sind zu richten an:

Redaktion der Naturwissenschaften,
(20b) Göttingen, Bürgerstraße 50.

In sämtlichen Fällen erhalten die Autoren eine Bestätigung über das Eintreffen von Manuskripten sowie über deren Annahme oder Ablehnung. In den Aufsätzen sind seltene und nur einem kleinen Leserkreis verständliche Fachausdrücke nach Möglichkeit zu vermeiden oder in einer Fußnote kurz zu erläutern. Literaturzitate sind fortlaufend zu numerieren; die angeführten Arbeiten werden dann in einem Literaturverzeichnis am Schluß der Arbeit zusammengestellt. Bei Erläuterung des Textes durch Figuren ist überflüssiger Aufwand zu vermeiden. Figurenvorlagen für Strichätzungen sind so sorgfältig herzustellen, daß nach ihnen ohne weitere Rückfragen Reinzeichnungen angefertigt werden können. Diese werden zur Zeitersparnis den Autoren im allgemeinen nicht vorgelegt, sondern seitens der Redaktion kontrolliert.

Bei photographischen Abbildungen (Autotypien) kann das Druckergebnis auf dem heute zur Verfügung stehenden Papier nur in seltenen Fällen wirklich befriedigen. Es ist deshalb ratsam, Autotypien nach Möglichkeit zu vermeiden. In vielen Fällen läßt sich das Wesentliche durch eine Zeichnung ebensogut zeigen.

Korrekturen.

Die Autoren erhalten in jedem Fall eine Fahnenkorrektur, deren umgehende Erledigung und Rücksendung (mit einem Vermerk, ob der Beitrag druckfertig oder eine Revision erforderlich ist) erbeten wird.

Besprechungsexemplare.

Es wird gebeten, von der unverlangten Zusendung von Büchern, besonders kleineren Broschüren und Zeitschriften-Heften, abzusehen, und zunächst eine Anfrage an die Redaktion zu richten, die dann von sich aus Exemplare anfordern wird. — Für die Rückgabe unverlangter Sendungen kann keine Gewähr übernommen werden.

Fortschritte der Chemischen Forschung

Herausgegeben von **F. G. Fischer** *Würzburg* **H. W. Kohlschütter** *Darmstadt* **Kl. Schäfer** *Heidelberg*

Redaktion: **H. Mayer-Kaupp**

Die Fortschritte erscheinen in zwangloser Folge in einzeln berechneten Heften, von denen je vier zu einem Band von etwa 50 Bogen vereinigt werden. Im Laufe des Jahres 1949 wird nicht mehr als ein Band erscheinen. Preis je Band etwa DMark 60,—.

Etwa im Oktober erscheint: **I. Band. Heft 1/2.**
Mit etwa 90 Abbildungen. Etwa 360 Seiten.

INHALTSÜBERSICHT: The size and shape of protein molecules. Von J. T. Edsall. - Synthesen in der Carotinoid-Chemie seit 1939. Von H. H. Inhoffen und F. Bohlmann. - Über die Chemie der Silicone. Von H. W. Kohlschütter. - Probleme der Wärmeleitung in Gasen bei niedrigem Druck und der Energieübertragung an festen Oberflächen. Von Kl. Schäfer. - Counter-current distribution and some of its applications. Von L. C. Craig. I.: The isolation of active principles fractionation theory. II.: The concept of purity in biochemistry and methods for proving purity. III.: The chemistry of polypeptide antibiotics. - Die Trennung und Bestimmung der natürlichen Amminosäuren. Von Th. Wieland. - Über den Radikalzustand ungesättigter Verbindungen. Von E. Müller.

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

36. Jahrgang Heft 7*) 1949

Die Entdeckung des menschlichen Zwischenkiefers durch Goethe und Oken.

Auf Grund neuer Dokumente dargestellt

von Max Pfannenstiel, Freiburg i. Br.

Nach dem Tode Goethes ist unglücklicherweise ein Prioritätsstreit entstanden, ob Goethe oder Oken den wissenschaftlichen Ruhm beanspruchen darf, die Wirbeltheorie des Schädels in die zoologische und anatomische Wissenschaft eingeführt zu haben. Nachdem sich 1851 auch über Oken die Gruft schloß, ebbte der Streit allmählich ab, wenngleich immer wieder Partei für den einen oder anderen ergriffen wurde. Löst man die Sache von den streitenden Gruppen ab, so ergibt sich folgendes: Goethe fand im Mai 1790 am Lido zu Venedig einen zerbrochenen Schafskopf, der ihm „jene große, früher von ihm erkannte Wahrheit, die sämtlichen Schädelknochen seien aus verwandelten Wirbelknochen entstanden", abermals bestätigte. Goethe hat also schon vor 1790 die Entdeckung gemacht, zu einer Zeit also, da Oken noch keine zehn Jahre alt war.

Erst 30 Jahre später, nämlich 1820, hat Goethe, durch Carus aufgefordert, seine Entdeckung im Druck erscheinen lassen. Oken hingegen fand unabhängig von Goethe im August 1806 seine Wirbeltheorie an einem verwitterten Schädel einer Hirschkuh. Im September des gleichen Jahres schrieb er die ersten Zeilen darüber nieder, und als er 1807 in Jena Professor wurde, betitelte er seine gedruckte Antrittsrede: „Über die Bedeutung der Schädelknochen."

Es ist also Tatsache, daß Goethe lange vor Oken seine Entdeckung machte, daß Oken aber, der unabhängig von Goethe für sich die Entdeckung wiederholte, diese zuerst publizierte.

Nach den internationalen Regeln der zoologischen Nomenklatur ist Oken der Entdecker der Wirbeltheorie des Schädels, da er zuerst seine Ideen drucken ließ. Aber bei diesem formalen Entscheid kann man sich nicht wohlfühlen; es ist eben so, daß zwei große deutsche Männer, die wir gleicher Weise verehren, dieselbe Sache unabhängig voneinander gefunden haben; die Theorie lag gewissermaßen „in der Luft" und war ja nicht nur von Goethe und Oken, sondern auch von anderen geahnt und ergriffen worden.

R. Zaunick (1930) hat in einer schönen Studie nachgewiesen, daß Gustav Carus und Bojanus die ersten waren, die „stets gerecht geschieden zwischen der publizistischen Priorität Okens und der rein zeitlich früheren Konzeptionspriorität Goethes".

Ein glücklicher Zufall, das Auffinden neuen handschriftlichen Materials aus der Studierstube Okens, bestätigt und ergänzt wesentlich das Bekannte und eben kurz Vorgetragene. Nur in einem Punkte führt uns das Material sehr viel weiter.

Goethe wird mit Recht in der Anatomie des Menschen als der Entdecker des Zwischenkiefers gefeiert. Daß aber auch Oken, von Goethe nichts wissend und nichts ahnend, den Zwischenkiefer im menschlichen Schädel gefunden hat, ist bis jetzt unbekannt geblieben. Oken hat indessen seine Beobachtungen nie veröffentlicht; er hat sie nur als Kontroverse gegen seinen Lehrer Blumenbach in Göttingen niedergeschrieben.

Fast scheint es mehr als Duplizität des Falles zu sein, daß zwei Männer in einem wissenschaftlichen Fache zweimal dieselbe Entdeckung machen: beide waren vorzügliche Beobachter, beide trauten der herrschenden Lehrmeinung nur so weit, als sie selbst Tatsachen sehen und begreifen konnten. Beide besaßen das Streben nach Wahrheit und den Mut, dieselbe auszusprechen, auch wenn sie zuerst gegen den Strom der bestehenden wissenschaftlichen Ansicht schwimmen mußten.

Um historisch vorzugehen, sei zuerst die *Entdeckung des Zwischenkiefers durch Goethe* kurz wiedergegeben.

Seit seinen Straßburger und Leipziger Studienjahren hatte Goethe eine Vorliebe für die Osteologie. Anfänglich war sein Bestreben, die Physiognomik Lavaters osteologisch zu begründen (1776—1780). Von Weimar aus kam Goethe öfters nach Jena, wo er in dem Anatomen Loder einen trefflichen Lehrer seiner Liebhaberei fand. Zum tieferen Erfassen wurden das Knochengerüst und auch Muskelpartien gezeichnet. Die zeichnerische Darstellung von Naturgegenständen fördert die Beobachtung und das Talent zum richtigen Sehen in allen Zweigen der Naturwissenschaft und der Medizin. Herzog Karl August von Sachsen-Weimar unterstützte die Liebhaberei seines Freundes und schaffte eine Anzahl Tierschädel für das herzogliche Kabinett an, und als Goethe eine geräumige Wohnung in der Stadt am 1. Juni 1782 bezog, war ihm auch die Gelegenheit gegeben, seine Sammlung aufzustellen und zu vergrößern. So hat ein wiederholtes Vergleichen, Betrachten und Zeichnen der Knochen von Tier und Mensch dem damaligen Kammerpräsidenten Goethe eine tiefe, nicht oberflächliche Kenntnis der Osteologie verschafft. Merck in Darmstadt mußte von seinen paläontologischen Forschungen an fossilen Elefanten und Rhinozerossen Mitteilung machen, mußte seinen Briefwechsel mit den berühmten Anatomen Camper, Forster und Sömmering unterbreiten. Schließlich fand Goethe selber den Weg zu den großen Sezierkünstlern seiner Zeit. Am 28. April 1783 besuchte ihn der Vater der Anthropologie, Professor Blumenbach aus Göttingen; im Oktober desselben Jahres trifft Goethe in Kassel Forster und Sömmering. Von diesen Gelehrten aufgemuntert, weiß er sich auf dem richtigen Wege. Seine osteologischen Forschungen waren vergleichender Art; die Elemente des Knochengerüstes vom Menschen und von den verschiedensten Tierarten wurden aufgesucht und verglichen. „Ich weiß meine Osteologie auf den Fingern auswendig herzusagen, und bei jedem Tierskelett die Teile nach dem Namen, welche man den menschlichen beigelegt hat, genau zu finden und zu vergleichen. Es macht mir großes Vergnügen." (An Merck am 27. 10. 1782.)

Goethes Arbeiten bewegten sich ganz in der Richtung der Osteologie Campers und Blumenbachs, welche als idealistische Periode der vergleichenden Anatomie angesehen werden kann (Spemann 1915 S. 6). Diese Richtung ist am besten durch den Titel

*) *Ausgegeben im August 1949.*

zweier Vorträge ausgedrückt, die Petrus Camper 1778 in der Amsterdamer Académie de dessin gehalten hat: „Sur l'analogie qu'il y a entre la structure du corps humain et celle des quadrupèdes, des oiseaux et des poissons." Es wurden nur die morphologisch gleichwertigen Teile untersucht, während der Begriff von funktionell gleichwertigen Organen noch nicht bekannt war.

Blumenbach hatte 1775 in Göttingen eine Schrift verfaßt: „De generis humani varietate nativa", welche Goethe besonders in einem Punkte zu innerem Widerspruch reizte. Alle Knochen der Tiere, sagte Blumenbach, finden sich beim Menschen wieder. Nur ein einziger fehlt dem menschlichen Skelett, nämlich der Zwischenkieferknochen des Oberkiefers. Dieses Os intermaxillare, wie Blumenbach es nannte, oder Os incisivum, wie Camper es bezeichnete, haben alle Tiere einschließlich der Affen, aber es ist nie beim Menschen vorhanden. „Es trat der seltsame Fall ein, daß man den Unterschied zwischen Affen und Menschen darin finden wollte, daß man jenem ein Os intermaxilare, diesem aber keines zuschrieb; da nun aber genannter Teil darum hauptsächlich merkwürdig ist, weil die oberen Schneidezähne darin gefaßt sind, so war nicht begreiflich, wie der Mensch Schneidezähne haben und doch des Knochens ermangeln sollte, worin sie eingefügt stehen. Ich suchte daher nach Spuren desselben und fand sie gar leicht" (Goethe).

Mit Recht schreibt Spemann (1915 S. 64): „Was diese Entdeckung denkwürdig macht, ist nicht die Schwierigkeit der Beobachtung, sondern die tiefe Auffassung des Organismus und das treue Festhalten an der Idee, das Goethe suchen und finden ließ."

Es war der 27. März 1784 in Jena, als Goethe den Zwischenkiefer bei osteologischen Vergleichsstudien entdeckte. Seine Freude war begreiflicherweise groß, wie aus den Briefen des gleichen Tages an Herder und Frau von Stein hervorgeht. Vom 12. bis 16. April weilt er wieder bei Professor Loder in Jena, weil er dachte, recht bald fertig zu sein. Auch im Mai hält er sich wieder öfters bei Loder auf, der seiner Entdeckung freudig zustimmt. Goethe dachte sogar daran, sich mit diesem Thema den Doktorhut zu erwerben und hielt mit einer verfrühten Mitteilung an seine Freunde zurück. Im Oktober erst schreibt er an Sömmering, unterrichtet den Herzog, Frau von Stein, Herder und Knebel mit Einzelheiten. An Weihnachten desselben Jahres wird seine kleine Arbeit ins Lateinische übersetzt und fein geschrieben an Merck geschickt mit der Bitte, nach gründlicher Einsicht das Manuskript an Sömmering und an Camper weiterzugeben. Die Abhandlung fand keinen Widerhall. Sie wurde von allen drei Anatomen abgelehnt. Sömmering versuchte ihm „in einem sehr leichten Brief" die Gedanken und Beobachtungen „auszureden", und auch Merck war „von der Wahrheit seines Asserti nicht durchdrungen". Camper erhielt die Abhandlung, wobei ihm Merck unterschlug, daß Goethe der Verfasser sei. Der holländische Anatom lobte die schöne Schrift, wußte aber nicht, was er damit machen sollte, bemängelte die lateinische Übersetzung und blieb bei seiner Behauptung, der Mensch habe keinen Zwischenkiefer.

Goethe hat die Ablehnung eigentlich recht freundlich ertragen, wenngleich ihm die Lust verlorengegangen war, seine Entdeckung zu veröffentlichen; er war vielmehr überrascht, daß die Gelehrten so zähe an einer falschen Meinung haften können, denn: „Einem Gelehrten von Profession traue ich zu, daß er seine fünf Sinne ableugnet. Es ist ihnen selten um den lebendigen Begriff der Sache zu tun, sondern um das, was man davon sagt."

Es ist wichtig zu wissen, daß die Wissenschaft die Entdeckung Goethes nicht achtlos beiseite ließ, obwohl sie zuerst nicht gedruckt erschien. Loder hat 1788 Goethe und den menschlichen Zwischenkiefer in seinem „Anatomischen Handbuch" (S. 89) erwähnt, was uns nur recht und billig erscheinen kann; stand doch Loder Pate zu Goethes Entdekkung. Selbst Sömmering beharrte nicht mehr so steif auf seinem ablehnenden Standpunkt, denn in seiner „Knochenlehre" von 1791 (S. 160) bedauerte er, daß „Goethes sinnreicher Versuch aus der vergleichenden Knochenlehre, daß der Zwischenknochen der Oberkinnlade dem Menschen mit den übrigen Thieren gemein sei, von 1785, mit sehr richtigen Abbildungen" nicht erschienen ist. Schließlich sei Gotthelf Fischer erwähnt, der in seiner zusammenfassenden Arbeit „Über die verschiedene Form des Intermaxillarknochens in den verschiedenen Thierarten" (1800 S. 17) Goethes Abhandlung vermißt.

Die „Cephalogenesis" des Münchner Anatomen J. B. v. Spix (1815) hat der Entdeckung schließlich zum Siege verholfen; erst jetzt, nachdem die unbedingte Richtigkeit von wissenschaftlicher Seite ausgesprochen und anerkannt war, hat Goethe auf das Drängen seines Freundes Carus hin seine Beobachtungen am „Zwischenknochen" erscheinen lassen. Es war das Jahr 1819. Seinen Aufsatz versah er aber mit der Jahreszahl 1786 (hier irrte sich Goethe, denn er machte seinen Fund schon am 27. März 1784!). Zweites Heft zur Morphologie. Später erschien die Arbeit nochmals in den „Nova Acta Academiae Leopoldino-Carolinae" (1931 Bd. 15).

Blumenbach aus Göttingen zeigte sich lange Zeit unnachgiebig und starr an seiner These festhaltend, daß der menschliche Schädel zum Unterschied vom tierischen keinen Zwischenkieferknochen besitze. In seinem berühmten „Handbuch der vergleichenden Anatomie und Physiologie" (1804) hält er noch an seinem Irrtum fest. Doch bald darauf muß er Goethe im stillen gestehen, daß der Zwischenkiefer vorhanden ist. Bei hydrocephalen Kinderschädeln, beim doppelten Wolfsrachen und anderen pathologischen Erscheinungen des Schädels sei der Zwischenkiefer zu sehen, und er müsse annehmen, daß bei gesunder und normaler Entwicklung der Knochen mit seiner Umgebung spurlos verschmilzt.

Es ist sehr wahrscheinlich, ja fast als sicher anzunehmen, daß Lorenz Oken es war, der Blumenbach zur richtigen Einsicht der Dinge brachte.

In den ersten Maitagen des Jahres 1805 kam Dr. Lorenz Oken von Würzburg über Halle und Jena nach Göttingen, um sich als Student einschreiben zu lassen. Er brachte eine Empfehlung seines Freundes Schelling an Blumenbach mit, zu dem er mit den größten Erwartungen geeilt war. Blumenbach enttäuschte ihn; er kam ihm in seinen Vorlesungen als „Possenreißer und Raritätenkrämer" vor, der in einem Wust von „Kleinigkeiten, Pratzen und Trivialitäten" das Große übersehe. Seine Antipathie steigerte sich immer mehr; er hält Blumenbach für den schlechtesten Professor Deutschlands, und schließlich ist es „ein eingefleischter Haß gegen diesen Menschen", bei dessen Anblick ihm „die Galle gährt". Es ist Oken in seiner Jugend oft so gegangen, daß er seinen akademischen Lehrern mißtrauisch, ja feindlich gegenüberstand. So z. B. glaubte er auch, Professor Ecker in Freiburg hasse ihn. Fast stets hatte sich Oken getäuscht, und er mußte bald einsehen, daß ihm sein Temperament durchgegangen sei. So bei Ecker und so auch bei Blumenbach. Aus brieflichen Äußerungen jener Zeit an Schelling wissen wir, daß er seine unhaltbare Lage den Menschen und Dingen gegenüber deutlich empfand und

daß er seine „blöde Art“ auf ein „fehlendes Vertrauen zu der Welt“ schiebt.

Im Wintersemester 1805 durfte Oken als jüngster Göttinger Privatdozent zum ersten Male lesen; er trug „Biologie, gegründet auf den Gesamtorganismus der Natur“ und die „Lehre von der Zeugung“ vor. Blumenbach las im gleichen Semester „Vergleichende Anatomie“, zu welcher Oken als Gast und Hörer kam, weil er beabsichtigte, eine „Darstellung der Zoophilosophie an dem Handbuch der vergleichenden Anatomie von J. T. Blumenbach“ zu schreiben.

Ein Bruchstück von Blumenbachs Vorlesung ist uns aus Okens Kollegheft im Freiburger Nachlaß erhalten; desgleichen das Manuskript der „Darstellung der Zoophilosophie“, welches nie gedruckt wurde. Nach der Vorlesung muß Professor Blumenbach noch ein Privatissimum für die eifrigen Studenten gehalten haben, und diese Gelegenheit hat Oken gern ergriffen, um in seiner gegnerischen Einstellung zu Blumenbach recht unangenehme Fragen zu stellen, wie aus seinen Briefen an Schelling eindeutig hervorgeht. Er reizte Blumenbach mit seinen Widersprüchen und freute sich, wenn der alte Herr in Verlegenheit geriet und sich ärgerte. Am 8. November 1805 besprach Blumenbach den Zwischenkiefer und sagte, „sein Mangel sei Charakter der Humanität“.

Oken hat Blumenbach heftig widersprochen und hat seine bessere Ansicht auf seine Kollegzettel geschrieben, die hier wiedergegeben seien:

„*Vergleichende Anatomie in Blumenbachs Vorlesungen. (1805)*. . . . 8ter November . . . (1805). Das gewöhnliche Thier mit Schneidzähnen (= Zeichnung) und nun soll dieses kein Zwischenkiefer sein; ‚sein Mangel sei Charakter der Humanität; der Mensch hat ganz gewiß keins‘. Das ist unbegreiflich.

Auch das Kapuzineräffchen hat keins, weil solches in 3 nicht angezeigt wird, aber der Unterkiefer hängt fest geschlossen daran, daher man nicht von innen sieht, wo ohne Zweifel die Sutur ist. Von außen sieht man allerdings nichts davon. Aber was beweist denn dieses mehr, als daß es verwachsen ist. Verwächst es doch bei Hunden, Hirschen so, daß man von außen nicht eine Spur davon sieht, wie ich es genau beobachtet habe, und doch läugnet kein Mensch diesen Knochen, ja Blumenbach selbst sagt, dieses komme im Alter; aber wie geht es allein, wenn es beim Hund so verwachsen kann, daß es unsichtbar wird, warum kann es dann auch beim Menschen nicht geschehen? Es geht dem Blumenbach wie dem Vierenburg mit seinem Darmsystem. . . denn alle Körper, wenn sie sich einmal festgerannt haben, kommen sie nicht mehr heraus; ich bin überzeugt, daß Blumenbach darauf stirbt, wie Lichtenberg. . . Daß Menschen in die Luft schießen können, obschon sie es vor seiner Nase gethan.

Der Schneidezahn sicher im Zwischenkiefer steht; einmal so bei Elephant, Seekuh, Schwein, wo ich auch die Hauer darin sah. Hinter dem Hauer steht oft noch ein kleiner spiziger Zahn wie im Bären, aber nicht im fossilen Bären.

. . . gut, aber im Hund stehet auch davor ein solch kleiner. . .

2ten Dezember 1805. Der Mensch hat kein Os intermaxillare. Daher hat er keine Schnauze. Kinder haben zwar im Gaumen Spalten, aber nicht vorne und es fällt aber durch Kochen nicht heraus. (Ei, das ist ein Beweis! als hat er keins?)

4ten Dezember. Er zeigte mir Schädel, diese gehören Indianermädchen an, denen bestimmt die Naht im Gaumen gebogen ist, aber außen nicht mehr sichtbar; dieses gibt er nur für eine Fissur und nicht für eine Sutur, und ei warum, weil doch beim Macerieren oder Kochen der Knochen nicht herausfällt. — Aber diese Naht ist gar nicht grad, wie eine Fissur sein sollte, sondern hat ganz dieselbe Windungen wie der Zwischenkiefer.

Ich sah dann mehr als 20 Köpfe bei Kindern bei Osiander.“

Schließlich arbeitet Oken im Dezember 1805 die ganzen Fragen und Antworten zwischen Blumenbach und ihm aus und schreibt sie nieder (Freiburger Nachlaß):

„Una natura, confluxio unica December 1805.
Consentientia omnia

Knochen

Ich sah bei Osiander mehr als ein Duzend Kinderschädel, bei denen bestimmt in allen die Gaumennath des Zwischenkiefers ganz deutlich vorhanden war. Es ist wahrscheinlich keine Fissur, denn sie geht ganz durch; sie ist nicht gerad, sondern läuft wirklich gebogen ganz wie bei einem Thier mit Schneidzähnen wie bei einem Hunde. In der Mitte vorwärts bauchicht.

Vorn außen ist sie nämlich verwachsen und ich gestehe keine Spur davon zu entdecken; aber heißt denn dieses, daß der Knochen gar nicht da ist? daß diese Knochenmasse von gleicher Produktion mit dem Oberkiefer ist?

Ebenda liegt ein Bärenschädel, der nicht nur von außen, sondern auch von innen nicht die geringste Spur von einer Naht oder Fissur zeigt. Nie würde es einem Anatomen an diesem Schädel einfallen, dem Bären einen Zwischenkiefer beizulegen, wenn ihn Blumenbach jahrelang kocht, wird er gewiß nicht heraus. . . fallen, denn er ist eine Knochenmasse mit dem Oberkiefer — warum soll es denn beim Menschen, wo man in jedem Kinderschädel die Gaumennaht bestimmt sieht, nicht ebenso sein? Warum soll es denn im Bären verwachsen sein, so daß alle Spur verschwindet, und dagegen im Menschen, wo auch die deutliche Spur ist, fehlen? Es ist gar nicht zu begreifen, wie nur einem Menschen ein solcher Einfall kommen kann. Von der Hartnäckigkeit, mit der mir Blumenbach darauf bleibt, läßt sich einigermaßen entschuldigen, wenn man bedenkt, daß es nur aus Unwissenheit geschieht, blos weil er einige Menschenschädel angesehen hat, bei diesem geleugnet, nachher wurden ihm Einwürfe gemacht, er hatte aber auch zu wenig Kenntnisse, und widersetzte sich, stürmt man von allen Seiten auf ihn ein, so ist es klar, daß er toll werden muß und schreien gemein. ‚Der Mensch hat es nicht, denn es fällt nicht heraus, wenn man den Schädel jahrelang kocht.‘ Nun so koche einen alten Bärenschädel doch in secula, und es gefällt gewiß nicht heraus, denn der Bär ist ein Mensch.

Aber auch beim Dachs, den Osiander hat, ist es ebenso ohne alle Spur ringsum verwachsen; ist es schon auch da nicht gewesen? Oder man kann sich ja damit trösten. In der Jugend hat der Dachs zwar einen Zwischenkiefer, weil er auch ein stupides Thier ist, wird er aber alt, so hat er keins mehr; wohin es kömt, das weiß ich nicht; jetzt stehen einmal die beiden Oberkiefer unter der Nase aneinander, kurz jetzt ist er ein Mensch.

So gut wie der Kapuzineraffe keinen Zwischenkiefer hat, so gut hat der Dachs und der Bär keinen, und zwar darf ich dieses noch eher (?) befürchten als von jenen, denn dem Affen, den Blumenbach hat, kann man nicht einmal von unten im Rachen sehen, wo er also noch sehr wohl die Naht da haben kann, wie es bei vielen, ja bei allen alten Hunden ist, bei denen es immer vorwärts ohne alle Spur verwachsen ist, gerade so wie bei jungen Kindern; und doch sagt

Blumenbach, er glaube, dieser Affe habe es nicht, denn er habe es bei 3 solchen gesehen; ei! warum hat er dann es auch nicht beim Bären und Dachsen gesehen!

Bei Osiander sah ich, daß die Hauern nicht in dem Oberkiefer, sondern ganz gewiß in den Zwischenkiefern stehen. Also fällt das Schwein weder in die Reihe der Elephanten, des Ros marus, und darum halte ich die Elephantenzähne für wahre Zähne und nicht für Hörner; doch aber für Annäherungen zu Hörnern."

Oken hat natürlich nicht allein aus Freude am Widerspruch gegen seinen Lehrer die vorstehende kleine Abhandlung über den Zwischenkiefer des Menschen niedergeschrieben; er hat es tatsächlich besser gewußt, weil er genau wie Goethe tiefer in das Wesen der Dinge eindrang und es ihm durch seine naturphilosophischen Gedankengänge unmöglich schien, daß allein das Fehlen des Zwischenkiefers den „Charakter der Humanität" bedingen solle. Weiterhin muß Oken auch osteologische Beweise gehabt haben durch seine embryologischen Studien. Für seine 1805 erschienene Arbeit „Die Zeugung" und seine ausgezeichneten embryologischen Untersuchungen an Schwein, Hund und Mensch hat er viele Embryonen angesehen und seziert. Auf seiner Reise von Würzburg nach Göttingen machte er in Jena halt, um sich die herzoglichen Naturaliensammlungen anzusehen und vermerkt sich auf einem Zettel (Freiburger Nachlaß), was er an den dort aufbewahrten Embryonen gesehen hat. Den Göttinger Professoren der Naturwissenschaft und Medizin wirft er direkt vor, daß von den vielen Dutzenden aufbewahrter Embryonen keiner aufgeschnitten wird. „Diese Leute haben nur an der Schale Freude" (an Schelling am 9. Juli 1805. Ecker S. 183). Endlich ist es ihm dann geglückt, daß die Mediziner Himly und Osiander von ihren Schätzen etwas opferten und „schöne Leiblein sezierten".

Besonders ist ihm Hofrat Osiander sehr weit und fördernd entgegengekommen, was man aus der letzten Abhandlung vom Dezember 1805 ersieht. Aus Osianders und Himlys Göttinger Kliniken muß letzten Endes auch das pathologische Material gekommen sein (wasserköpfige Kinder und solche mit doppeltem Wolfsrachen), welches Blumenbach überzeugte, daß auch der Mensch einen Zwischenkiefer besitze. „Ich habe bey ungeborenen Kindern gesehen, daß die Eckzähne in einem besonderen Knochenstück stecken" (Oken in seiner „Isis" 1817 S. 159 ff.).

Oken hat also allein, ohne etwas von Goethes Forschungen zu wissen, den menschlichen Zwischenkiefer im Herbst 1805 für sich entdeckt. Blumenbach hat allem Anschein nach Goethe in seiner Vorlesung nicht erwähnt, wie er auch in seinem „Handbuch" aus dem Jahre 1804 den Namen des Dichters nicht aufführt.

Ich möchte glauben, daß Oken in seiner Kollegnachschrift des Olympiers gedacht hätte, wenn Blumenbach den verehrten Namen in seiner Vorlesung genannt hätte.

Schwierig ist die Frage zu beantworten, ob Oken nicht durch das Studium von Loders „Anatomischem Handbuch" (1788), Sömmerings „Knochenlehre" (1791) und Fischers „Intermaxillarknochen" (1800) von Goethes Entdeckung wußte, die in diesen Schriften leise erwähnt wird. Im Freiburger Nachlaß Okens befindet sich ein „Real- und Autorenverzeichnis", in welchem der Göttinger Privatdozent alle medizinischen Schriftsteller aufführt, die er damals studierte. Weder das Autoren- noch das Realregister geben uns einen Hinweis, daß Oken damals die Bücher der drei Autoren benutzt hat.

Und noch ein letzter Beweis, daß Oken nichts von Goethes osteologischen Studien und Erfolgen wußte.

Am 30. Juli 1807 berief die Regierung zu Weimar den „durch mehrere zoologische und andere gelehrte Schriften empfohlenen Dr. Oken zum Professor medicinae extraordinarius bei der Gesamtakademie Jena". An dieser Berufung hatte Goethe positiv mitgearbeitet, was bis heute ziemlich unbekannt war, aber durch folgenden Brief Okens an Goethe klar erhellt wird. Ich verdanke diesen Okenbrief dem Goethe- und Schiller-Archiv Weimar, dessen Direktion freundlichst den Abdruck gestattete, wofür auch hier mein Dank ausgesprochen sei.

„Hochwohlgeborener!

Höchstgeehrter Herr!

Ich bin endlich von der Reise zur Ruhe und an den Ort gekommen, wohin mich die Ehre und das Vertrauen der Regierung, woran Ew. Hochwohlgeboren Theil nehmen, gerufen haben. Ich fühle dieses Vertrauen mit Rührung, fühle aber auch, wie viel ich dadurch in Anspruch genommen werde, Erwartungen zu entsprechen, die man von mir haben mag, und die mich ohne Zweifel übertreffen. Indessen soll es mir an dem Bestreben nicht fehlen, um so weniger, da die Liberalität der Regierung und der Universität jeder wissenschaftlichen Entwicklung vorzugsweise günstig ist. Wenn der Mensch für sich das werden soll, was er von Natur und Wesen ist, so muß er auch für die Welt die Stelle finden, welche in ihr ihm correspondiert — ich glaube, hierinn glücklich gewesen zu sein, und dafür mögen Ew. Hochwohlgeboren meinen innigsten Dank gütigst annehmen.

Ew. Hochwohlgeboren gehorsamster
Dr. Oken.

Jena, den 23ten October 1807."

In demselben Monat erschien auch Okens gedrucktes Programm seiner Antrittsvorlesung „Über die Bedeutung der Schädelknochen", Jena 1807.

Man weiß, daß dieses „Programm" Okens Wirbeltheorie des Schädels enthält und später zum Zankapfel eines unglücklichen Prioritätsstreites geworden ist. Aber Oken hat hier nicht allein die Wirbeltheorie zuerst veröffentlicht, ahnungslos fordert er für sich auch die Entdeckung des menschlichen Zwischenkiefers. In Abschnitt II,2 schreibt er: „Das Wichtigste sind der *Zwischenkiefer* und die Zähne ... Die Bedeutung des Zwischenkiefers (alle Knochenthiere haben es unwidersprechbar: daß es auch im Menschen vorhanden ist, habe ich mich an Dutzenden von Kinderschädeln vorzüglich in Osianders Sammlung überzeugt) ist sehr schwer zu finden, weil er eine so sehr große Rolle in der Bildung der Nasenhöhle, besonders der Vögel spielt...."

Es mutet fast tragisch an: Goethes beste Ideen sind von einem Jüngeren erkannt und im Druck vorweggenommen, und man versteht die seelische Einstellung des Weimarer Dichterfürsten, der beim Lesen von Okens Programm durch solche „Antizipation" betroffen war.

Okens Brief an Goethe ist aus einem reinen Gemüte geschrieben, der ausgesprochene Dank ist echt und unverfälscht, denn Goethe hat ja mitgeholfen, daß Oken aus seiner mißlichen finanziellen Lage in Göttingen durch seine Berufung nach Jena befreit wurde.

Hätte er schon damals von Goethes Knochenstudien gewußt, so wäre es ihm wohl eine selbstverständliche Pflicht gewesen, die Arbeit seines vorgesetzten Ministers zu erwähnen, auch wenn sie noch nicht veröffentlicht war. Oken war innerlich auf-

recht und wahrhaftig: er hätte Goethe erwähnt, nicht aus Kriecherei, sondern aus Dank, Anerkennung und Liebe zur Wahrheit.

So ist das befreiende Wort nicht gesprochen worden und in der Folge sind schwere Tage für Oken aufgezogen. Vielleicht wäre der Streit um die „Isis" anders ausgegangen, hätten Goethe und Oken mehr voneinander gewußt; so waren sie innerlich schon getrennt, ehe sie sich überhaupt gesehen hatten.

Im Lichte der Geschichte der Wissenschaft hat Oken unbewußt der Entdeckung Goethes zum Siege verholfen, indem er Blumenbach widerlegte. Dessen Ansehen war so groß, daß alle Gegner Goethes ihre Ansicht revidierten, als der Nestor der Zoologie in Göttingen seine irrige These zurücknahm. Oken hat von dieser seiner Hilfestellung nie etwas geahnt, wie er auch später keinen Anspruch erhob, der Entdecker des menschlichen Zwischenkiefers zu sein, nachdem er die Geschichte dieser Entdeckung durch Goethe erfahren hatte.

Nachdem Oken seinen Lehrer Blumenbach überzeugt hatte, daß der menschliche Schädel den Zwischenkiefer tatsächlich besitze, hat sich allmählich seine Abneigung gegen den greisen Professor gelegt, und aus der Feindschaft wurde warme Liebe und Verehrung. In dem Manuskript „Darstellung der Zoophilosophie an dem Handbuche der vergleichenden Anatomie von J. F. Blumenbach", Göttingen 1805, lesen wir folgendes: „Wenn alle sogenannten Naturforscher in der Treue und Liebe der Beobachtung der Natur wetteifern, als es Deutschlands Blumenbach schon beinah ein halbes Menschenalter thut, dann könnte die Naturfilosofie stolz werden, solche Wohltaten zu besizen und sie, allein im Stande ihren Werth zu schätzen, mit ungeheucheltem Danke deren Gaben zu empfangen... Der heilige Bund könnte endlich geschlossen werden von Einer Klasse edler Menschen, die heute noch leider in zwei widerstreitenden Heeren gesondert kämpft, wovon es schwer zu sagen ist, wie bald der Geist der regen Liebe einerseits über die zahllosen Leiber in den wenigen Gebern andererseits siegen wird.

Ist Cuvier in seiner Sphäre der Heros des gelehrten Naturforschers, so ist es Blumenbach nicht nur hier, sondern auch vorzüglich für den Lehrenden und Lernenden. Jener umfaßt alles Bekannte (wenigstens ist in den bis jetzt erschienenen Bänden der Anfang zu dem mit Sehnsucht erwarteten Ganzen gemacht), dieser nur das Ganze, jener geht in das Einzelne wegen des Einzelnen, dieser nur um des Ganzen willen; jenes wird eine vergleichende Antomie, dies ist aber ein Handbuch derselben und zwar das erste, welches sich über das Ganze ausdehnt; es ist nebenbei ein Muster sowohl für den Lehrer als den Lernenden; und wie das Handbuch der Naturgeschichte des Herrn Verfassers sich als das einzige in seiner Art erweist, so wird auch diesem der Ruhm der Einzigkeit, nicht weil es bis jetzt numerisch das einzig erschienene ist, sondern seiner innern Gediegenheit nach, was für sich auch Wert genug hat, nicht entgehen.

Wie viel Blumenbach zur Verbreitung der Liebe zum Studium der Natur, wieviel sein Studium der Zootomie beigetragen habe, wieviele und treffliche Zöglinge er selbst durch mündlichen Vortrag und liberale Mitteilung seiner Sammlung gebildet habe und wie er noch so viele in Worten als in seinen Schriften bildet, ist zu bekannt, als daß ich noch etwas zu der Achtung, die er deswegen vom In- wie vom Auslande genießt hinzubringen könnte."

Wie anders schreibt hier Oken! Ruhig, ausgeglichen, voll tiefer Achtung für den Meister. Und wie polternd klangen die Worte in den Briefen an Schelling, die fast von Haß diktiert waren!

So hat sich auch hier die Kampfstimmung über den Zwischenkiefer gelegt. In derselben Handschrift ist zu lesen: „Der Zwischenkiefer ist ein merkwürdiger Knochen, in Form und Größe wechselnd, im allgemeinen ist er bei den Thieren klein, bei den Zweihufigen aber beträchtlich groß, welches nicht ohne Rückfluß von jenen auf die Fische, von diesen auf die Vögel sein kann, besonders da die Horngestalt eine wahre korallenartige Röhre ist. Lange hat man sich gestritten, ob dieser Knochen im Menschen wirklich vorhanden und mit den beiden Oberkiefern verwachsen sei, oder ob eher der vordere Theil der Kiefer ein und dieselbe Kieferproduction sei. Zur Aufklärung dieser Frage hat bekanntlich der Herr Verfasser das meiste beigetragen. Welcher Meinung man auch sein wird, so wird der Mensch dadurch nichts von seiner Humanität verlieren, besonders da ja mehrere, selbst Säugethiere in demselben Falle mit ihm sind. Indessen habe ich erst verflossenen Sommer eine menschliche Mißgeburt gesehen, dem nicht nur der mittlere Theil der oberen Lippe, sondern bestimmt das Stück der beiden Oberkiefer fehlte, das man Zwischenkiefer nennt. Diese Lücke deutet mir doch eine, sei es wie man wolle, bestimmte Nichtproduktion dieses Knochens zu sein. Und wenn er so ausgezeichnet nichtproduziert, warum sollte er nicht als solcher produziert werden?"

Es ist oft die Frage erörtert worden, ob sich Goethe und Oken über ihre osteologischen Forschungen unterhalten haben. Man weiß aus einer allerdings irrigen Äußerung Okens in der „Isis", daß er in der Osterzeit 1808 acht Tage bei Goethe als Gast geweilt hat. Über den Inhalt der geführten Gespräche ist bis heute nichts bekannt geworden; aber Heinrich Düntzer hat durchaus recht, wenn er schreibt, daß Goethe „ohne Zweifel ihm bei dieser Gelegenheit vertraute", daß er die Wirbeltheorie des Schädels und die Entdeckung des menschlichen Zwischenkiefers vor dem Jahre 1790 gemacht habe.

Die Universitäts-Bibliothek Jena besitzt eine Anzahl Okenbriefe (Signatur: Cod. Prov. q. 81. Nr. 27) an den Arzt Dr. Keller in Oberrimsingen bei Freiburg. Kurz nach seinem längeren Aufenthalt in Weimar bei Goethe schreibt Oken am 2. Mai 1808: „... Daß ich hier wohl bin, habe ich Dir schon gesagt. Es geht mir immer besser. Ich weiß nicht, ob ich dir schon gesagt habe, daß mir der Herzog vollkommen Freiheit gegeben für vergleichende Anatomie, was ich mir verlange. Besonders hat er sich schon mehrmals erkundigt, ob ich noch nichts von Paris erhalten habe. Er treibt mich aufs Blut — und ich zaudere noch immer, weil ich zuerst einen Plan gemacht haben muß, ehe ich ins Blinde anschaffe. Aber dieses ist herrlich vom Herzog. So kann ich etwas thun und auch etwas treffliches leisten. Einen solchen Eifer für die Wissenschaften findet man nicht leicht bei einem Fürsten.

Mit Göthe bin ich oft beisammen; er ist jetzt äußerst munter und gesellig und wirklich lustig. Er beschäftigt sich auch mit den Knochen nach höheren Ansichten..."

Oken und Goethe haben sich also an Ostern 1808 über die Knochen unterhalten, ohne daß etwa gleich der unglückliche Prioritätstreit entstanden ist. Aber es scheint, daß die beiden keine gemeinsame Brücke von Mensch zu Mensch bauen konnten, weil beide — bei manchen gleichen Zügen — im Charakter zu verschieden waren, und sie durch einen allzu großen Altersunterschied getrennt waren: Goethe stand im beginnenden Abendlicht des Lebens, Oken im frühen Morgenrot.

Eingegangen am 9. Mai 1949.

Literatur.

1818. Bojanus, Ludwig, Heinr. von, Versuch einer Deutung der Knochen im Kopfe der Fische. Isis 1818. Bd. **1**, Sp. 498 bis 510. (Oken-Goethe-Priorität.)

1819. Bojanus, Ludwig, Heinr. von, Weiterer Beytrag zur Deutung der Schädelknochen. Ein Schreiben an den Herausgeber der Isis. 2. Juli 1819.

1828. Baer, C. E. von, Über Entwicklungsgeschichte der Thiere. Königsberg 1828. (Vorwort S. 17 behandelt Oken.)

1836. (Anonym), Stimmen der Zeit über Goethe. Augsburg, Allgem. Ztg. 1836. Außerordentl. Beilage Nr. 150 u. 151 vom 3. April 1836. S. 598. (Goethe-Oken-Priorität.) Antwort Okens in der Augsburg. Allgem. Ztg. Beilage Nr. 282 u. 283 vom 20. Juni 1836. S. 1128.

1838. Pütter, J. S., Versuch einer academischen Gelehrtengeschichte von der Georg-Augustus-Universität zu Göttingen. Göttingen, Vandenhoeck Ruprecht 1765—1838.

1842. Steffens, H., Was ich erlebte. Bd. **6**, S. 36.

1845. de Blainville, H., Histoire des sciences de l'organisation. Vol. 3. Paris 1845, S. 466.

1845. Cuvier, G., De la philosophie de la nature en Allemagne et en France. Histoire des sciences naturelles. Bd. **III**, 2. Paris 1845.

1846. Düntzer, Heinrich, Goethes Gutachten über die Unterdrückung von Okens Isis. Kölnische Ztg. 1846. Nr. 259 vom 16. Sept. 1846, Nr. 260 vom 17. Sept. 1846, Nr. 261 vom 18. Sept. 1846. Inhaltsgleich: Düntzer, H., Zu Goethes Jubelfeier, Studien zu Goethes Werken. Verl. Bädeker 1849, S. 374, Goethes Gutachten über die Unterdrückung von Okens Isis.

1848. Owen, Richard, On the Archetype and the Homologies of the Vertebrate Skeleton. London 1848.

1853. Erdmann, Versuch einer wissenschaftl. Darstellung der Geschichte der neueren Philosophie. Bd. **3**, 2. Abt., S. 551. 1853. (Goethe-Oken.)

1854. Düntzer, Heinrich, Ein Prioritätsstreit zwischen Oken und Goethe. Morgenblatt für gebildete Leser, Jahrg. 48. Cotta, Stuttgart 1854. Inhaltsgleich: Düntzer, Heinrich, Aus Goethes Freundeskreise. Vieweg, Braunschweig 1868.

1856. Raulf, Emanuel, Oken und Goethe, Blätter für literarische Unterhaltung. Bd. **1**, S. 333. Brockhaus, Leipzig, 1856.

1858. Günther, Johannes, Lebensskizzen der Professoren der Univ. Jena seit 1558—1858. S. 140. Friedr. Mauke, Jena 1858. (294 S.).

1859. Huxley, Th. H., On the theory of the Vertebrate Skull. Proceedings of the R. Society of London, vol. 9, 1859.

1864. Carus, C. G., Neuer Atlas der Craniioskopie, 2. verm. Aufl. W. Keiper, Leipzig, Berlin 1864. Tafel VIII: Totenmaske Okens.

1866. Martius, Carl, Fr., Ph. von, Akademische Gedenkreden: Lorenz Oken. S. 322—325. Friedr. Fleischer, Leipzig 1866.

1868. Düntzer, Heinrich, Aus Goethes Freundeskreis, Darstellung aus dem Leben des Dichters. Abschnitt 11: Oken. S. 417—466. Vieweg, Braunschweig 1868.

1872. Gegenbauer, Untersuchungen zur vergleichenden Anatomie der Wirbelthiere. 3. Heft: Kopfskelett der Selachier. Leipzig 1872. S. 304.

1874. Vetter, Benjamin, Geschichte und gegenwärtiger Stand der Schädelwirbeltheorie, Sitzungsber. naturwiss. Ges. Isis. Dresden 1874. S. 22—31.

1880. (Anonym), Herr Alexander Ecker über Oken und Goethe. Im neuen Reich, Wochenschrift, Jahrg. 10, 1880. Bd. **2** (Juli-December), S. 537—546. S. Hirzel, Leipzig 1880.

1880. Ecker, Alexander, Lorenz Oken, Eine biographische Skizze. Stuttgart. Schweizerbarth. 220 S. (mit 1 Portrait und Faksimile der 195. Nr. des Bandes **1** der Isis). Englische Ausgabe: London by Alfred Tulk 1883.

1884. Güttler, Karl, Lorenz Oken und sein Verhältnis zur modernen Entwicklungslehre. Ein Beitrag zur Geschichte der Naturphilosophie. Bidder, Leipzig 1884. 150 S.

1893. Lorenz, Ottokar, Goethes politische Lehrjahre. S. 30ff u. S. 134: Über den Okenschen Händel. W. Hertz, Berlin 1893.

1900. Bojanowski, Paul von, Aus dem Archiv der Großherzoglichen Bibliothek. Ein Brief Goethes über Oken. Freundesgabe für Carl August Hugo Burkhardt. S. 1—19. H. Böhlau, Weimar 1900.

1900. Gaupp, Ernst, Alte Probleme und neuere Arbeiten über den Wirbeltierschädel. Ergebnisse der Anat. u. Entwicklungsgesch. 10. S. 849—1001.

1905. Haeckel, Ernst, Über die Biologie in Jena während des 19. Jahrhunderts. Jenaische Zeitschr. f. Naturwiss. N. F. 32. 1905.

1906. Gaupp, Ernst, Die Entwicklung des Kopfskelettes. Hertwig, Oskar, Handb. d. vergl. u. exper. Entwicklungslehre der Wirbeltiere. Bd. **III**, 2, S. 593. Fischer, Jena 1906.

1915. Spemann, Hans, Zur Geschichte und Kritik des Begriffes der Homologie. Kultur der Gegenwart, Bd. Allg. Biologie, S. 63ff. Teubner, Leipzig 1915.

1920. Schwalbe, E., Vorlesungen über Geschichte der Medizin. 3. Aufl. G. Fischer, Jena 1920.

1921. Schuster, Julius, Die Geburt der Naturphilosophie um 1800. Eine Untersuchung nach Dokumenten. Fünfzehn Jahre Königl. und Staatsbibliothek. Dem scheidenden Generaldirektor Exc. Adolf von Harnack zum 31. Febr. 1921 überreicht. S. 170—175. Preuß. Staatsbibliothek, Berlin 1921.

1922. Schuster, Julius, Oken, der Mann und sein Werk. Vortrag. W. Junck, Berlin 1922. 24 S.

1924. Wohlbold, Heinrich, Die Wirbelmetamorphose des Schädels, von J. W. von Goethe und Lorenz Oken mit einer Einleitung herausgegeben. Mit 1 Tafel. Pflügerverlag München 1924. 81 S.

1926. Zaunick, Rudolph, Zwei Briefe: Lorenz Oken an Carl Gustav Carus, Ein Beitrag zu Carus Gesamtwürdigung als Biologen. Mitt. zur Geschichte der Medizin und der Naturw. Nr. 117 (1926), Bd. **25** (Nr. 3) und Nr. 118 (1926), Bd. **25** (Nr. 4); S. 141—146 u. S. 205—213.

1930. Zaunick, Rudolph, Oken, Carus, Goethe, Zur Geschichte des Gedankens der Wirbelmetamorphose. Histor. Studien und Skizzen zur Natur- und Heilwissenschaft. Festgabe Georg Sticker zum 70. Geburtstage. S. 118—129. J. Springer, Berlin 1930.

1932. Schuster, Julius, Goethe und die Biologie. Sitzungsberichte der Ges. naturforschender Freunde. Berlin 1932. S. 299 u. 311.

1937. Beer, G. R. de, The development of the vertebrate skull. Oxford 1937.

1938. Pfannenstiel, Max, Lorenz Oken und die Universität Freiburg i. Br. Erster Abschnitt einer für die Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte bearbeiteten Quellensammlung: „Aus Leben und Werk von Lorenz Oken, dem Begründer der deutschen Naturforscherversammlungen." Mit einem Geleitwort von Ludwig Aschoff. Herausgegeben von Rudolph Zaunick. Sudhoffs Archiv für Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften, Bd. **31**, Heft 6, 43 S. Barth, Leipzig 1938. Auch *erschienen als Sonderdruck:* „Den nach Freiburg kommenden Teilnehmern der 95. Versammlung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte." (Stuttgart 1938.)

1939. Oken, Laurentius, Gesammelte Schriften. Herausgegeben von Julius Schuster. Die sieben Programme zur Naturphilosophie, Physik, Mineralogie, Vergleichende Anatomie und Physiologie. Schöpferische Romantik, W. Keiper, Berlin 1939. 334 S., 1 Titelbl. Inhalt: Programme zur Naturphilosophie. Übersicht 1802. Schädelknochen 1807—1847. Universum 1808. Licht und Wärme 1808. Wert der Naturgeschichte 1809. System der Erze 1809. Neue Kriegskunst 1811. Mit Beiträgen von K. E. v. Baer.

1939. Schuster, Julius, Okens geistesgeschichtliche Stellung. In Oken, Laurentius: Gesammelte Schriften. Die sieben Programme. Hrsg. von Julius Schuster. Schöpferische Romantik, W. Keiper, Berlin 1939. S. 320—328.

1941. Pfannenstiel, Max, Lorenz Oken und J.W. von Goethe, dargestellt auf Grund neu erschlossener Quellenzeugnisse von Max Pfannenstiel in Gemeinschaft mit Rudolph Zaunick. Aus Leben und Werk von Lorenz Oken, dem Begründer der deutschen Naturforscherversammlungen. Eine Quellensammlung im Auftrag der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte, hrsg. von Rudolph Zaunick. Sudhoffs Archiv f. Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften. Bd. **33**. Barth, Leipzig. S. 113—173.

1943. Wehnelt, Bruno, Die Pflanzenpathologie der deutschen Romantik als Lehre vom kranken Leben und Bildern der Pflanzen, ihre Ideenwelt und ihre Beziehungen zur Medizin, Biologie und Naturphilosophie historisch-romantischer Zeit. Scheur. Bonn 1943. 236 S. 8°.

Die Integrieranlage IPM-Ott für gewöhnliche Differentialgleichungen.

Von Alwin Walther und Hans-Joachim Dreyer.

Aus dem Institut für Praktische Mathematik (IPM) der Technischen Hochschule Darmstadt.

Es wird eine seit 1938 entwickelte Integrieranlage (Differential Analyzer) zum Lösen von Differentialgleichungen beschrieben. Sie besteht aus getrennten, instrumentell arbeitenden Rechengeräten, die elektrisch verkoppelt werden. Das Ergebnis erscheint als gezeichnete Kurve auf wenige Bruchteile eines Prozents genau. Besonders hervorhebenswert sind die Wendigkeit beim Anpassen der Anlage an die verschiedenen Typen von Differentialgleichungen und die Möglichkeit, empirische Zusammenhänge durch lichtelektrische Kurvenabtastung einzuarbeiten. Einige Beispiele beleuchten Leistungsfähigkeit und Tragweite der Anlage.

Allgemeine Kennzeichnung einer Integrieranlage.

Integrieranlagen sind instrumentelle Hilfsmittel zum Lösen gewöhnlicher Differentialgleichungen, insbesondere solcher, deren formelmäßige Behandlung Schwierigkeiten bereitet. Sie liefern eine partikuläre Lösung der Differentialgleichung zu gegebenen Anfangsbedingungen als gezeichnete Kurve (oder auch als Wertefolge in einem Zähl- oder Druckwerk). Die Anlagen gehören zu den umfangreichen und kostspieligen mathematischen Geräten, die in den letzten Jahrzehnten unter Ausnutzung moderner technischer Entwicklungen und Möglichkeiten gebaut worden sind. Der Aufwand rechtfertigt sich dadurch, daß die Integrieranlagen vielseitig verwendbar und nicht — wie gewisse Sondergeräte — auf bestimmte Typen von Differentialgleichungen spezialisiert sind (1).

Um die gewünschte Allgemeinheit zu erzielen, besteht eine Integrieranlage aus einzelnen Einheiten, deren jede nur eine einzige Rechenart erledigt, z. B. Addieren, Multiplizieren, Integrieren, auch Abgreifen von Funktionen. Diese Einheiten (Rechengeräte) werden von Fall zu Fall so verkoppelt, daß der funktionale Aufbau der zu lösenden Differentialgleichung nachgebildet wird. Dabei schließen sich, weil die Lösung durch die Differentialgleichung implizit gegeben wird, die Rechengeräte kreisartig zusammen (Rückkopplung). Die Anfangsbedingungen werden durch die Anfangseinstellungen der Rechengeräte berücksichtigt.

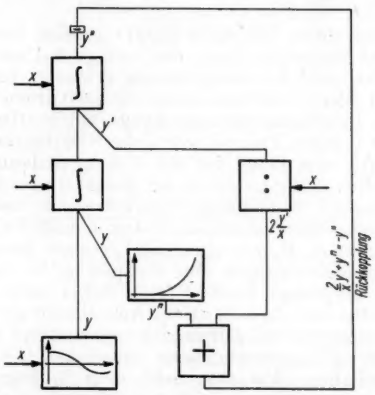


Fig. 1. Kopplungsplan für die Emdensche Differentialgleichung

$$y'' + \frac{2}{x}\,y' + y^n = 0.$$

Den grundsätzlichen Aufbau einer Integrieranlage für Differentialgleichungen skizzierte William Thomson (Lord Kelvin) (2) schon 1876 und erkannte hierbei als entscheidend die Idee der Rückkopplung. Zur Verwirklichung einer Integrieranlage kam es jedoch damals noch nicht. Im Gegenteil wurden die Gedanken von W. Thomson wenig beachtet und später weitgehend wieder vergessen.

Der Instrumenten-Charakter der Anlage drückt sich darin aus, daß die Variablen und die Konstanten durch stetig veränderliche physikalische Größen wie Längen, Drehungen von Wellen, Stromstärken usw. dargestellt werden.

Von solchen stetig arbeitenden Instrumenten sind bezüglich des Arbeitsprinzips scharf zu unterscheiden die ziffernmäßig rechnenden Maschinen, die in den letzten Jahren ebenfalls eine große, durch Namen wie ENIAC gekennzeichnete Bedeutung erlangt haben. Bei ihnen werden moderne Fortentwicklungen der gewöhnlichen Rechenmaschine benutzt, um die Differentialgleichung (neben vielen anderen Aufgaben) in finiter Behandlung nach geeigneten numerischen Verfahren mehr oder weniger automatisch zu lösen. Die Einteilung der mathematischen Geräte in Instrumente und Maschinen hebt mit Klarheit Hartree (3) hervor, vgl. auch Dreyer (4).

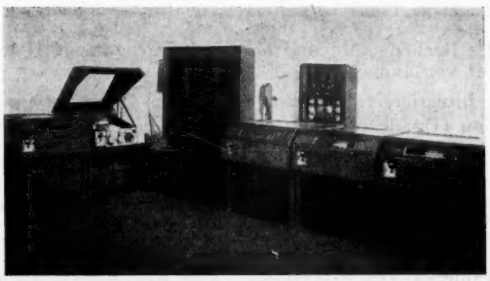


Fig. 2. Teilansicht der Integrieranlage IPM-Ott. Links zwei Funktionstische, einer davon geöffnet. In der Mitte die Kopplungstafel. Rechts zwei Integriergeräte und ein Multipliziergerät. Darüber an der Wand acht Addiergeräte.

Als Beispiel für die Verwendung einer Integrieranlage zeigt Fig. 1, wie man die nichtlineare Differentialgleichung $y'' = -\left(2\frac{y'}{x} + y^n\right)$, die sogenannte Emdensche Differentialgleichung der Gaskugeln (5), durch Zusammenschalten von Rechengeräten wiederzugeben hat. In diesem Kopplungsplan sind die Rechengeräte durch Rechteck-Symbole angedeutet. Die beiden Integriergeräte links bilden eine Kette, in der man von der höchsten vorkommenden, an sich nicht bekannten Ableitung y'' über y' zur Stammfunktion y aufsteigt. Rechts wird in einem Dividiergerät der Quotient $2\frac{y'}{x}$ gebildet, von einem Funktionstisch die Potenz y^n von y, z. B. y^3 abgegriffen und in einem Addiergerät mit $2\frac{y'}{x}$ zusammengefügt. Die so entstehende Summe $2\frac{y'}{x} + y^n$ muß mit umgekehrtem Vorzeichen die unbekannte zweite Ableitung y'' sein. Wird sie an den Eingang der Integrierkette rückgekoppelt, so läuft die Integrieranlage entsprechend der Differentialgleichung. Am Ende der Integrierkette zeichnet ein Funktionstisch die Lösung y über der unabhängigen Veränderlichen x auf, die hierbei ebenso wie an den Integriergeräten den Antrieb besorgt.

Grundsätzlich ist es auch möglich und liegt sogar näher, mit Hilfe von Differenziergeräten von der Funktion selbst zur höchsten vorkommenden Ableitung hinabzusteigen. Praktisch bereitet aber das instrumentelle Differenzieren wegen der aufrauhenden Eigen-

schaft dieser Operation große Schwierigkeiten und wird kaum angewendet. Allerdings benutzt Hoelzer (6) in einer rein elektrisch arbeitenden Integrieranlage den Kondensator sowohl als Integrierelement wie auch als Differenzierelement und empfiehlt den gemischten Gebrauch von etwa gleich viel Elementen beider Art.

Aufbau und Besonderheiten der Integrieranlage IPM-Ott.

Die Integrieranlage IPM-Ott (7), von der Fig. 2 eine Teilansicht zeigt, wurde von 1938 an entwickelt in enger Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Praktische Mathematik (IPM) der Technischen Hochschule Darmstadt und der Firma A. Ott, Math. Mech. Institut, Kempten/Allgäu. Neben den Verfassern waren dabei besonders beteiligt W. de Beauclair (IPM) und L. Ott († 16. 3. 1946). Als Ausgangspunkt diente der sogenannte Differential Analyzer von Bush (8).

Diese „klassische" Integrieranlage, die Vannevar Bush seit 1925 am Massachusetts Institute of Technology in Cambridge/Mass. aufbaute, hatte mechanische Verkopplung der einzelnen Rechengeräte durch Wellen und Zahnräder. Sie wurde an vielen Stellen ohne wesentliche Veränderungen nachgebaut, z. B. in Manchester, Cambridge/England (9), Oslo (10), Leningrad.

Als Rechengeräte sind bei der Integrieranlage IPM-Ott vorhanden:

Integriergeräte (bisher vorhanden 2) zur Integration (Quadratur) $z = \int y\,dx$, wobei $y = y(x)$ oder auch $x = x(t)$ und $y = y(t)$ sein kann,

Multipliziergeräte (bisher 1) zum Multiplizieren oder Dividieren von Funktionen: $z = x(t) \cdot y(t)$ oder $z = x(t) : y(t)$,

Addiergeräte (bisher 8) zum Addieren oder Subtrahieren von Funktionen: $z = x(t) + y(t)$ oder $z = x(t) - y(t)$,

Funktionstische (bisher 6) sowohl zum Abgreifen gezeichneter Funktionskurven $z = z(t)$ als auch wahlweise zum Aufzeichnen von Ergebniskurven.

Die Rechengeräte arbeiten auf mechanischer Grundlage, sind aber elektrisch verkoppelt. Alle Rechengrößen werden dargestellt als Drehungen umlaufender Wellen von einer Anfangsstellung aus. Zur Verkopplung tragen diese Wellen an den Eingängen und Ausgängen der Rechengeräte elektromagnetisch arbeitende Fernübertragungssysteme, die sämtlich mit einer Kopplungstafel verbunden sind. An diesem zentralen Teil der ganzen Anlage kann das Zusammenschalten der Rechengeräte rasch und bequem erledigt werden, indem man den Kopplungsplan der zu lösenden Differentialgleichung mittels Steckschnüren realisiert. Diese elektrische Verkopplung bringt einen wesentlichen Fortschritt gegenüber dem ursprünglichen Differential Analyzer von Bush (8) und seinen Nachbauten, bei denen der Übergang von einer Differentialgleichung zu einer anderen meistens umständliche und zeitraubende Umbauten der Kopplungswellen und Kopplungszahnräder erfordert. Darüber hinaus gewinnt man als wertvolle Besonderheit eine weitgehende Auflockerung der Anlage in einzelne transportable Einheiten. Jedes Rechengerät (außer den kleinen Addiergeräten) ist in einem besonderen, etwa 1 × 1 m großen Tisch untergebracht, zu welchem nur einige elektrische Kabel führen. Das ermöglicht große Freizügigkeit beim Aufstellen der Tische und erleichtert Umbauten und Erweiterungen.

Etwa gleichzeitig mit der hier beschriebenen Anlage wurde auch von Bush (11) eine neue Anlage entwickelt, bei welcher ebenfalls elektrische Verkopplung benutzt wird, und zwar mit kapazitiven Übertragungssystemen. Verkoppelt wird mit Kreuzschienen-Telefonwählern, die durch Lochstreifen gesteuert werden. Der Aufbau ist nicht so aufgelockert wie bei IPM-Ott, sondern in der Hauptsache auf großen Rahmengestellen durchgeführt, ähnlich wie bei elektrischen Schaltanlagen. — In Deutschland war während der Kriegsjahre eine zweite Integrieranlage (12) bei der Firma Askania in Arbeit, wurde aber durch Kriegseinwirkung zerstört, nachdem Probegeräte im Herbst 1942 gute Genauigkeit gezeigt hatten. Daneben sind noch die Arbeiten von H. Engel (13) (Firma Geräteentwicklung Danzig) und von H. Hoelzer (6) erwähnenswert.

Als Integrierelement dient bei der Bush-Anlage und ihren Nachbauten, auch bei der Askania-Anlage, das Reibradgetriebe (der Gonellasche Integriermechanismus) mit mechanischer oder neuerdings mit elektrischer Drehmomentverstärkung. Bei IPM-Ott wird hingegen das Schneidenrad verwendet, weil über dieses bei der Firma A. Ott umfangreiche gute Erfahrungen bei Integraphen und Differentiographen vorlagen. Das Arbeitsprinzip wird später erläutert.

Das Schneidenrad findet sich 1878 beim gewöhnlichen Integraphen von Abdank-Abakanowicz. Es kommt auch vor in dem 1914 von Udo Knorr (14) gebauten Fahrdiagraphen, einem Gerät zur instrumentellen Bestimmung von Eisenbahnfahrzeiten. Der Fahrdiagraph kann als erste verwirklichte Integrieranlage angesehen werden, da Knorr mehrmals feststellt, daß mit Geräten dieser Art „eine große Gruppe von Differentialgleichungen bis zu beliebig hoher Ordnung und ziemlich allgemeiner Form als gelöst zu betrachten" sei. Wiederaufgenommen wurde der Gebrauch des Schneidenrads zum Lösen von Differentialgleichungen im IPM beim Zweifach-Integraphen von W. de Beauclair aus dem Jahre 1939. Dieses Gerät war zusammengebaut aus handelsüblichen Integraphen Adler-Ott und diente zur Behandlung der Schwingungsdifferentialgleichung $\ddot{y} + f(\dot{y}) + g(y) = h(t)$ mit beliebig geschwindigkeitsabhängiger Dämpfung, auslenkungsabhängiger Rückstellung und zeitabhängiger Erregung. Es stellte die Vorstufe zur Integrieranlage IPM-Ott dar, ist aber durch Kriegseinwirkung vernichtet. An ihm wurden wertvolle Erfahrungen über Verkopplung, Nachsteuerung und Abtastung gesammelt.

Um die Genauigkeit durch möglichst geringe Belastung des Schneidenrads zu steigern, wird dessen Bewegung mit einer lichtelektrischen Nachsteuereinrichtung kraftfrei abgegriffen und an die Ausgangswelle des Integriergeräts weitergeleitet. Auch beim Multipliziergerät ist eine solche Nachsteuereinrichtung eingebaut, um Klemmungen zu verhüten.

Als besonders förderlich für Tragweite, Genauigkeit und Bequemlichkeit der Anlage hat sich eine lichtelektrische Kurvenabtastung erwiesen, mit welcher auf allen Funktionstischen die als Kurven dargestellten Funktionszusammenhänge automatisch abgetastet werden. Das sonst übliche Nachführen eines Fahrstifts von Hand ist bei hohen Genauigkeitsansprüchen mühsam und in der Qualität von der Bedienungsperson abhängig. So erklärt sich, daß man es möglichst vermied und statt dessen einfache Funktionskurven (z. B. $y = \sin x$) als Lösungen geeigneter Differentialgleichungen (im Beispiel $y'' = -y$) erzeugte; allerdings braucht man dabei mehr Integriergeräte (im Beispiel zwei). Aus diesem gerätebedingten Sachverhalt haben sich sogar eigene mathematische Hilfsbetrachtungen entwickelt (15). Mit automatischem Abtasten geht man hingegen unmittelbar von einer gezeichneten Kurve aus. Diese kann übrigens, wenn erwünscht, auch in der sonst üblichen Weise als Lösung einer Differentialgleichung gewonnen werden, aber in einem vorher erledigten Arbeitsgang, also ohne zusätzliche Integriergeräte.

Über Einrichtungen zur lichtelektrischen Kurvenabtastung wird auch bei der älteren Bush-Anlage und bei einem englischen Nachbau berichtet (16). Auf Dauer scheint aber anderswo keine solche Einrichtung eingebaut worden zu sein.

Prinzipien der Rechengeräte.

Integriergerät. Das als Integrierelement benutzte Schneidenrad bewegt sich nur in Richtung seiner eigenen Ebene über seine Unterlage hinweg, auch wenn die treibende Kraft einen (nicht allzu großen) Winkel gegen die Radrichtung bildet (Fig. 3). Aus konstruktiven Gründen ist im Integriergerät (Fig. 4) das Schneidenrad zwar schwenkbar, sonst aber räumlich fest und statt dessen die Unterlage beweglich. Und zwar ist die Unterlage ein mittels Spindel und Mutter z-verschieblicher Oberwagen, der auf einem in Fig. 4 schraffierten, x-verschieblichen Unterwagen läuft. Die Richtung des Schneidenrades wird in einem mechanisch verwirklichten Steigungsdreieck mit festem Polabstand p durch eine Schlitzführung laufend gemäß der zu integrierenden Funktion $y = y(x)$ eingestellt und der Unterwagen nach x bewegt. Dann steuert das Schneidenrad den Oberwagen laufend so, daß die Radspur auf der Unterlage jeweils die zu y gehörige Richtung hat. Die Spur stellt also die Integralkurve $z = \int y\,(x)\,\mathrm{d}x$ dar, deren Ordinaten sich laufend als Verschiebung des Oberwagens abgreifen lassen. Der Maßstab der Integralkurve z hängt von den Maßstäben von x und y sowie von der Größe des Polabstandes p ab.

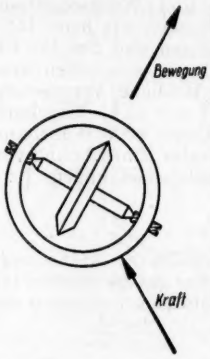


Fig. 3. Prinzip des Schneidenrades.

Die zum Verschieben der Unterlage erforderliche Kraft wird bei der in Fig. 4 angedeuteten Ausführung, die z. B. ähnlich beim Integraphen Adler-Ott vorkommt, als seitliche Reibungskraft vom Schneidenrad selbst aufgebracht. Je mehr Kraft nötig ist, desto mehr sinkt die Genauigkeit der Einrichtung. Um trotzdem bei der Integrieranlage außer der Unterlage auch noch weitere mit dem Integriergerät-Ausgang verkoppelte Rechengeräte mitbewegen zu können, wird das Schneidenrad durch eine lichtelektrische Nachsteuereinrichtung fast ganz entlastet. Hierzu ist es innerhalb der Schwenkführung kippbar gelagert (Fig. 5). Statt die Unterlage zu verschieben, kippt es ein wenig aus und bewegt dabei an einem langen Arm einen Spiegel mit scharfer Kante. Dadurch wird von einem auffallenden Lichtstrahl ein größerer oder kleinerer Teil reflektiert, der über Photozelle und Verstärker die Unterlage so nachsteuert, daß das Schneidenrad sich wieder senkrecht stellt. Die winzige Schrägstellung des Schneidenrades, die zum Ansprechen der Nachsteueranlage erforderlich ist und deren Größe von der Nachlaufgeschwindigkeit abhängt, bewirkt eine zusätzliche Verschiebung der Unterlage um wenige hundertstel mm. Das beeinträchtigt jedoch die Genauigkeit der Integration nicht merklich, zumal die Richtung der Rolle nicht verändert wird.

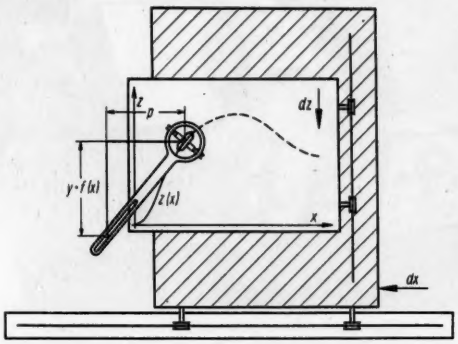


Fig. 4. Prinzip des Integriergeräts
$\mathrm{d}z : \mathrm{d}x = y : p$, also $z = \frac{1}{p}\int y\,\mathrm{d}x$.

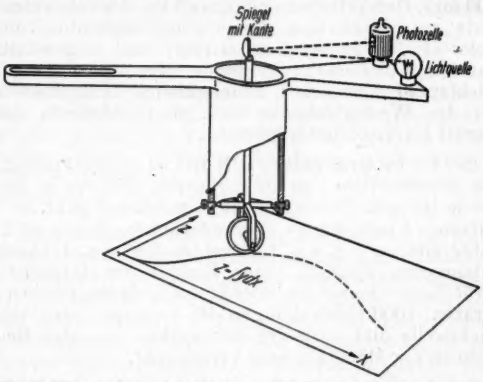


Fig. 5. Kipplagerung des Schneidenrades zur lichtelektrischen Nachsteuerung der Schneidenrad-Unterlage.

Die eigens entwickelte Nachsteuereinrichtung ist bei den älteren Geräten aus Röhrenverstärker, Ferrarismotor und mechanischem Drehmomentverstärker (nach dem Prinzip der Bandbremse) aufgebaut, bei den neueren aus Röhrenverstärker, Relaisverstärker und Einphasenmotor. Einzelheiten sollen hier nicht besprochen werden.

Die Verschiebungen für die Veränderlichen x, y, z werden mit Hilfe von geschliffenen Präzisionsspindeln gewonnen, an welche die erwähnten Fernübertragungssysteme zur Verkopplung der Rechengeräte angebaut sind. Zwischen den Antriebs- bzw. Abtriebswellen und den Fernübertragungssystemen ist je ein Wechselgetriebe angebracht. Es dient in erster Linie dazu, das Integrationsergebnis auch dann in normaler Größe weiterzugeben, wenn dieses durch ungünstigen Integranden unmittelbar zu klein ist. Zählwerke an jeder Antriebs- und Abtriebswelle gestatten, die Größe der Veränderlichen laufend zahlenmäßig abzulesen und Anfangswerte einzustellen.

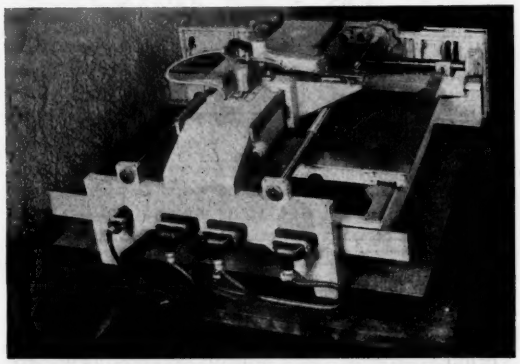


Fig. 6. Rückansicht des Integriergeräts.

Eine Rückansicht des Integriergeräts zeigt Fig. 6. Die aufklappbare Staubschutzhaube ist abgenommen.

Das Schneidenrad ist nicht sichtbar, sondern wird von der stabilen, das Gerät überspannenden Brücke verdeckt, in welche seine Schwenkführung eingebaut ist. Oben sieht man die Schlitzführung, mit welcher die Richtung des Schneidenrads vermöge der Spindel an der Brücke eingestellt wird. Rechts unter der Brücke ragt die Schneidenradunterlage aus Messingblech hervor mit ausnutzbarer Fläche von 300 × 200 mm. Der Auflagedruck (etwa 1 kg) des Schneidenrads aus Stahl und der Verrundungsradius der Schneide (einige hundertstel mm) sind so gewählt, daß keine bleibenden Spuren im Messing entstehen. Elektrische Verstärker, Relaiszubehör, Zahnradsatz für das Wechselgetriebe usw. sind unterhalb des Geräts im Tisch untergebracht.

Bei der Integrieranlage IPM-Ott ist es zweckmäßig, die Veränderlichen so zu normieren, daß sie in folgende Bereiche fallen und diese möglichst ganz ausnutzen: Unabhängige Veränderliche: $0 \leqq u \leqq 1$, Integrand: $-1 \leqq v \leqq 1$, Ergebnis: $0 \leqq w \leqq 1$. Dann entsprechen nämlich jeder Einheit am Integriergerät (und ebenso an sämtlichen anderen Rechengeräten) 1000 Umdrehungen der Antriebs- oder Abtriebswelle und auch des Zählwerkes, was das Berechnen der Maßstäbe sehr vereinfacht.

Für die normierten Veränderlichen führt das Integriergerät, wenn alle Wechselübersetzungen 1 : 1 angenommen werden, folgende Integration aus:

$$w = 2 \int v \, \mathrm{d}\, u.$$

In dem Faktor 2 sind Polabstand, feste Zahnradübersetzungen, Spindelsteigungen usw. zusammengefaßt. Er ist auf Grund der Annahme gewählt, daß für das Integral größere Werte als 0,5 selten vorkommen. (Sonst müßte der Integrand dauernd dicht unter 1 liegen.) Dadurch kommt man in sehr vielen Fällen ohne besondere Wechselübersetzungen, also mit 1 : 1 aus. Die Wahl der Übersetzungen in anderen Fällen soll hier nicht behandelt werden.

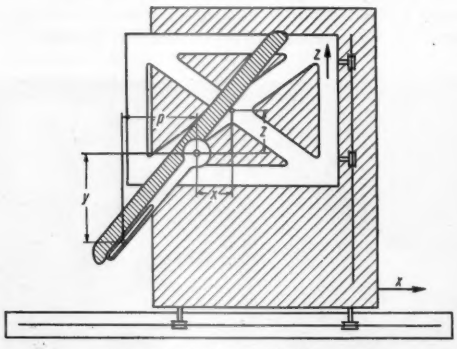


Fig. 7. Prinzip des Multipliziergeräts

$z : x = y : p$, also $z = \frac{1}{p} x \cdot y$.

Multipliziergerät. Das Multipliziergerät (Fig. 7), das auch zum Dividieren benutzt werden kann, arbeitet nach dem elementargeometrischen Proportionensatz mit ähnlichen Dreiecken. Es ist weitgehend in der gleichen Art und mit den gleichen Teilen aufgebaut wie das Integriergerät. An Stelle des Schneidenrades tritt ein (in Fig. 7 engschraffiertes) Tastlineal, dessen Richtung in einem Steigungsdreieck — wieder durch eine Schlitzführung — laufend gemäß dem einen Faktor y eingestellt wird. Der Oberwagen trägt hier an Stelle der Schneidenradunterlage einen Tastknopf, der durch eine lichtelektrische Nachsteuereinrichtung ständig an der Linealkante gehalten wird. Der zweite Faktor x wird als Verschiebung des Unterwagens realisiert. Dann kommt eine Verschiebung z des Oberwagens zustande gemäß $z = \frac{1}{p} x \cdot y$, die als das gewünschte Produkt weitergeleitet wird. Die Nachsteuereinrichtung beruht darauf, daß das Tastlineal kippbar gelagert ist, beim Berühren des Tastknopfes ein wenig gekippt wird und diese Bewegung in der früher beschriebenen Weise an einen Steuerspiegel weitergibt.

Übersetzungen, Zählwerke und Wechselgetriebe sind in der gleichen Art vorhanden wie beim Integriergerät. Da für beide Faktoren und für das Ergebnis beide Vorzeichen zugelassen sein sollen, sind folgende Normierungen der Bereiche vorgesehen: Faktoren: $-1 \leqq u \leqq 1$, $-1 \leqq v \leqq 1$, Ergebnis: $-1 \leqq w \leqq 1$ (jede Einheit wieder 1000 Wellenumdrehungen). Das Gerät führt unter Einrechnung von Polabstand usw. bei Wechselübersetzungen 1 : 1 folgende Multiplikation aus:

$$w = 2\, u \cdot v.$$

Zum Dividieren wird der Antrieb der Nachsteuereinrichtung von der Spindel für w auf die Spindel für u umgelegt und das Ergebnis als Verschiebung u des Unterwagens abgegriffen:

$$u = \frac{1}{2} \frac{w}{v}.$$

Selbstverständlich kann v jetzt nicht über 0 hinweggehen oder sich diesem Wert zu sehr nähern. Die Grenze liegt darin, daß u dem Betrage nach nicht größer als 1 werden kann.

Addiergerät. Zum Addieren werden übliche Kegelrad-Differentialgetriebe benutzt, welche die von zwei Fernübertragungssystemen zugeführten Summanden zusammenfassen und die Summe über das Ergebnissystem weitergeben. Elektrische Verstärker und

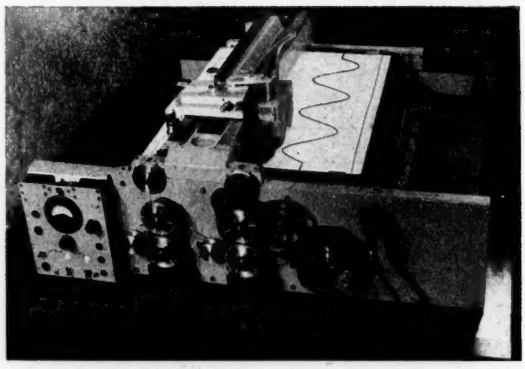


Fig. 8. Ansicht eines geöffneten Funktionstisches.

Wechselgetriebe sind dabei nicht erforderlich. Da nur Drehbewegungen ausgeführt werden, bestehen keine Bereichsbeschränkungen. Es wird immer berechnet:

$$w = u + v.$$

Zum Subtrahieren kann man, wie übrigens bei allen Geräten, das Vorzeichen einer der beiden Veränderlichen u, v an der Kopplungstafel umkehren. Auch Vertauschen eines Summanden und des Ergebnisses ist möglich.

Funktionstisch. Für die abzutastende oder aufzuzeichnende Kurve steht auf dem Funktionstisch (Fig. 8) eine Fläche von 400 × 600 mm zur Verfügung. Das Kurvenblatt wird auf einen in Ordinatenrichtung verschieblichen Wagen gespannt, über den

sich der „Abtastkopf" in Abszissenrichtung (in Fig. 8 vom Beschauer weg) bewegt. Die lichtelektrische Abtasteinrichtung (17) führt den Wagen ständig so, daß der Abtastkopf über der Kurve bleibt. An Zählwerken können Abszissen- und Ordinatenwerte laufend abgelesen werden.

Der abzutastende Kurvenstrich muß so gezeichnet sein, daß er mit einer Kante, nicht wie sonst üblich mit der Strichmitte die betreffende Funktion idealisiert. Die Strichstärke soll 1 mm oder mehr betragen.

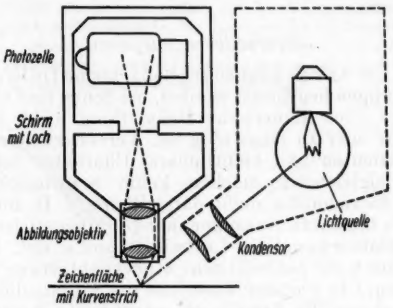


Fig. 9. Aufbau des Abtastkopfes.

Die von der Lichtquelle beleuchtete Umgebung des abzutastenden Punktes wird durch ein kurzbrennweitiges Photoobjektiv auf einen Schirm in etwa dreifacher Vergrößerung abgebildet (Fig. 9). In der Mitte dieses Schirmes befindet sich ein kleines Loch, durch welches das auftretende Licht auf die dahinterliegende Photozelle fällt. Überdeckt das Bild des schwarzen Kurvenstrichs das Schirmloch ganz (Fig. 10 links), so bleibt die Photozelle dunkel, und der Nachsteuermotor läuft in der einen Drehrichtung. Wird nur weiße Zeichenfläche abgebildet (Fig. 10 Mitte), so ist die Photozelle hell, und der Motor läuft in der anderen Richtung. Die Mittelstellung, wenn der Strich das Loch gerade zur Hälfte bedeckt (Fig. 10 rechts), ist die Sollstellung, und der Motor steht still. Bei stetigem Vorschub des Abtastkopfes überdeckt das Kurvenstrichbild das Schirmloch immer gerade so weit, daß der Nachlaufmotor die erforderliche Geschwindigkeit in der einen oder anderen Drehrichtung aufweist. Die Abweichung von der Sollstellung, also die Fehler der abgegriffenen Or-

Fig. 10. Wirkungsweise der automatischen Kurvenabtastung.

dinate, betragen im allgemeinen bis zu $\pm$ 0,1 mm, senkrecht zur Kurvenstrichrichtung gemessen.

Die aufgetragenen Funktionen werden vorteilhaft so normiert, daß die Veränderlichen in folgende Bereiche fallen: Abszisse: $0 \leqq u \leqq 1$, Ordinate: $0 \leqq v \leqq 1$ (je Einheit 1000 Wellenumdrehungen). Für die normierten Veränderlichen wird bei Wechselübersetzungen 1 : 1 abgegriffen

$$v = f(u).$$

Zum Aufzeichnen von Ergebniskurven, wozu der Funktionstisch ebenfalls dient, ist am Abtastkopf eine herausschwenkbare Kapillarrohr-Schreibfeder angebracht. Jetzt wird nicht nur der Abtastkopf von außen her bewegt, sondern auch der Wagen. So kann man irgendeine in der Integrieranlage vorkommende Größe kurvenmäßig über einer anderen auftragen. Die Feder schreibt die neue Kurve am gleichen Punkt des Abtastkopfes, wo sonst eine vorliegende Kurve abgetastet wird. Man kann also eine eben als Lösung gewonnene Kurve in einem späteren Arbeitsgang wieder abtasten, ohne sie neu einspannen und einrichten zu müssen.

Zu Beginn einer Aufzeichnung können das Koordinatenkreuz und einige Teilstriche oder Netzlinien mit dem Gerät selbst aufgezeichnet werden, damit die Auswertung nicht durch Aufspannfehler oder verzogenes Koordinatenpapier ungenau wird. Bei hohen Genauigkeitsforderungen ist Papier mit Metalleinlage vorteilhaft. Aufzeichnungen auf Pauspapier können unmittelbar zur Vervielfältigung durch Lichtpausen benutzt werden. Besondere Registriertinte mit Glyzerinzusatz verhindert das Eintrocknen der Schreibfeder auch bei längeren Arbeitspausen.

Kopplungstafel. An der Kopplungstafel ist für jedes Eingangs-Fernübertragungssystem je eine Steckdose vorgesehen. Zu jedem Ergebnis-Fernübertragungssystem gehören zwei parallel geschaltete Dosen, um das Ergebnis eines Rechengeräts auf zwei andere verzweigen zu können. Jeder Eingangsdose ist ein Kippschalter beigegeben, mit welchem (durch Vertauschen zweier Fernübertragungssystem-Zuleitungen) das Vorzeichen der einzugebenden Größe umgekehrt werden kann.

Weiter sind eine größere Anzahl von Dosen paarweise über die Tafel verteilt, welche sämtlich mit einem großen Geber-Fernübertragungssystem verbunden sind, das die unabhängige Veränderliche liefert. Das von einem Motor über ein Regelgetriebe angetriebene Gebersystem koppelt man mit allen denjenigen Rechengerät-Eingängen, die nach der unabhängigen Veränderlichen bewegt werden sollen. Die Vorschubgeschwindigkeit der Anlage wird an einem Fernanzeigegerät abgelesen und danach am Regelgetriebe von Hand (oder auch automatisch) so eingestellt, daß bei keinem Rechengerät die zulässige Arbeitsgeschwindigkeit überschritten wird.

Durch besondere Leitungsführung über die Dosen der Kopplungstafel hinweg ist erreicht, daß nur die elektrischen Einrichtungen (Verstärker, Motoren usw.) derjenigen Rechengeräte in Betrieb gesetzt werden, bei welchen Steckschnüre in die Dosen eingesteckt sind, die also für die zu lösende Differentialgleichung wirklich gebraucht werden.

Bedienungs- und Sicherheitseinrichtungen. Mit der Kopplungstafel sind einige für alle Geräte erforderliche Hilfseinrichtungen räumlich zusammengefaßt. Außer dem eben erwähnten Regelgetriebe für den Vorschub ist besonders wichtig die Einrichtung zum Eingeben der Anfangswerte. Sie besteht aus einem kleinen Einrichtemotor, einem Schaltgetriebe und einem Fernübertragungsgeber. Jedes Fernübertragungssystem der Rechengeräte kann mit einem Schalter an diesen Geber angeschlossen werden. Mit Druckknöpfen steuert man vom Rechengerät aus den Einrichtemotor in Drehrichtung und Geschwindigkeit und bewegt so die Spindelmutter unter Beachtung des Zählwerks an die Stelle, welche dem einzubringenden Anfangswert entspricht. Elektrische Verriegelungen verhindern, daß die Bedienung von mehreren Rechengeräten aus gleichzeitig erfolgt.

Am Anfang und am Ende jeder Spindel in den Rechengeräten sitzt je ein Endschalter, der über Relais den Vorschub der ganzen Anlage stillsetzt, wenn wegen falschen Maßstabes der zulässige Bereich überschritten wird. Sowohl an dem betreffenden Gerät als auch an der Kopplungstafel leuchtet dann eine Merklampe auf.

Erprobung und Genauigkeit.

Zunächst wurden vom Sommer 1942 an noch während der Herstellung in Kempten die Einzelgeräte scharfen Prüfungen unterzogen, wobei teilweise W. Meyer zur Capellen mitwirkte. Der grundsätzliche Aufbau erwies sich als zweckmäßig. Insbesondere bewährten sich das Schneidenrad als Integrierelement und die lichtelektrischen Nachsteuer- und Abtasteinrichtungen. Die Einzelgeräte sind in ihrer Genauigkeit aufeinander abgestimmt. Die lichtelektrische Kurvenabtastung arbeitet bei $\pm$ 0,1 mm Fehler mit Zeichengenauigkeit, entspricht also einer natürlichen Genauigkeitsschranke für eine Anlage auf instrumenteller Grundlage. Integriergerät und Multipliziergerät stimmen mit $\pm$ 0,1 Prozent Fehler hiermit recht gut zusammen. Die Fernübertragungsfehler sind durch geeignete Zahnräderübersetzungen so herabgedrückt, daß sie gegenüber den anderen Einflüssen praktisch vernachlässigt werden können.

Nach Beseitigung der damals noch gefundenen Anstände wurde die Anlage, verzögert durch die Schwierigkeiten der letzten Kriegs- und ersten Nachkriegszeit, nach Darmstadt überführt. Hier wurde das Hauptgewicht darauf gelegt, sie im Ganzen zu erproben, und zwar unter Verhältnissen, welche normalen Betriebsbedingungen der Praxis entsprechen.

Die erreichbare Genauigkeit erweist sich abhängig von der bearbeiteten Differentialgleichung. So sind stark schwingende Lösungskurven im allgemeinen ungenauer als einsinnig verlaufende, auch steile Tangentenrichtung ist ungünstig. Zur ersten Prüfung wurden die harmonische Schwingung und die gedämpfte Schwingung mit den Differentialgleichungen $y'' + y = 0$ und $y'' + 3y' + 36y = 0$ bearbeitet, bei denen die Lage der Nullstellen und die Lage und Größe der Extrema empfindliche Kriterien liefern. Es wurden viele Ordinaten in den Originalaufzeichnungen der Anlage gemessen und mit den theoretischen Werten verglichen. Einige weitere bearbeitete Differentialgleichungen mit formelmäßiger Kontrollmöglichkeit waren:

$y'' + xy' = 0,$

Lösung $y = \int_0^x e^{-\frac{l^2}{2}} \, dl$ mit $y(0) = 0$ und $y'(0) = 1$

(Gaußsches Fehlerintegral),

$y'' - xy' + 8y = 0,$

Lösung $y = H_8(x) = e^{\frac{x^2}{2}} \left(e^{-\frac{x^2}{2}}\right)^{VIII}$ mit $y(0) = 105$

und $y'(0) = 0$ (Hermitesches Polynom),

$y'' + x\,y = 0,$

Lösung $y = \sqrt{x}\; J_{1/3}\left(\frac{2}{3} x^{3/2}\right)$ mit $y(0) = 0$ und

$y'(0) = \sqrt[3]{9}/\Gamma\left(\frac{1}{3}\right) \approx 0{,}7765$, nachprüfbar als Besselsche Funktion der Ordnung $^1/_3$ (auch ausdrückbar durch Airysche Integrale).

Die mehrmonatigen eingehenden Erprobungen und bisherigen Anwendungen der Integrieranlage zeigten folgendes: Eine einheitliche, für alle Fälle bindende Genauigkeitsangabe, wie etwa bei einem Meßinstrument, ist hier wegen der Fülle der bearbeitbaren Aufgaben und Verkopplungen nicht möglich. Bei Differentialgleichungen mit langsam veränderlichen, nicht zu steilen Lösungskurven z. B. beim Gaußschen Fehlerintegral, bleiben die Fehler der Ordinaten unter 0,1 Prozent des gesamten vorkommenden Ordinatenbereichs, wenn man bei den Rechengeräten und beim Aufzeichnen die verfügbaren Bereiche optimal ausnutzt. Bei ungünstigen Lösungskurven, z. B. bei den Hermiteschen Polynomen, die sowohl auf- und abschwingen als auch am Ende sehr steil werden, zeigen sich Ordinatenfehler von einigen zehntel Prozent, während die Nullstellen bemerkenswerterweise auf 0,1 Prozent des Abszissenbereichs genau gefunden werden. Damit ist diejenige Genauigkeit erreicht, die bei einer zusammengesetzten Anlage auf Zeichen- und Instrumentenbasis gewünscht und erwartet werden kann.

Bearbeitbare Aufgaben.

Mit der Anlage können sehr allgemeine Differentialgleichungen bearbeitet werden, bei denen eine formelmäßige oder numerische Behandlung nicht durchführbar oder zu langwierig ist. Veränderlichkeit der Koeffizienten und nichtlinearer Charakter der Differentialgleichung machen keine Schwierigkeiten. Auch formelmäßig nicht darstellbare, z. B. nur empirisch bekannte Zusammenhänge (Magnetisierungslinie, Röhrenkennlinie, Luftwiderstand u. dgl.) lassen sich durch die automatische Kurvenabtastung leicht erfassen. Ein weiterer Vorteil ist die Anschaulichkeit, mit welcher die Lösung als gezeichnete Kurve zustande kommt. Mit neuen Durchläufen kann dabei verfolgt werden, wie sich die Lösung bei Änderung von Daten abwandelt. Durch solche „Serienuntersuchungen" kann man Parametereinflüsse beurteilen, gewinnt einen Überblick über ganze Lösungsscharen und dringt so vom Einzelfall zur allgemeinen Einsicht vor. Von besonderer Bedeutung ist, daß auf diese Weise auch Rand- und Eigenwertprobleme angreifbar werden, indem man die Anfangssteigung der Lösungskurve bzw. eine Näherung für den Eigenwert systematisch abwandelt.

Einfach und präzis anzugeben, welche Differentialgleichungen mit einer Integrieranlage bearbeitet werden können, ist ein schwieriges, wohl noch nicht abschließend erledigtes Problem. Man muß dazu eine eingehende Theorie der Verkopplungen entwickeln, die Lehre von den Schachtelfunktionen heranziehen und ähnliche mathematische Hilfsmittel benutzen (18).

Beispiele für die Verwendung der Anlage.

Die allgemeinen Ausführungen über die Anwendbarkeit der Integrieranlage IPM-Ott seien zum Schluß durch zwei Beispiele erläutert, wobei einige Hinweise auf Vorbereitung, Handhabung und Zeitbedarf der Anlage beigefügt sind.

Als Beispiel für eine nicht durch elementare Funktionen lösbare Differentialgleichung betrachten wir die schon erwähnte Differentialgleichung (5)

$$y'' + \frac{2}{x} y' + y^n = 0 \text{ mit den Anfangswerten } y(0) = 1 \text{ und } y'(0) = 0.$$

Für einige Werte von n zeigt Fig. 11 das Ergebnis. Die elementaren Lösungen $y = 1 - \frac{1}{6} x^2$ für $n = 0$ und $y = \frac{\sin x}{x}$ für $n = 1$ sind zu Proben geeignet. Für $n = 3$ liefert die Lösungskurve recht gut die bei Emden besonders interessierende erste Nullstelle $x \approx 6{,}90$.

Der Kopplungsplan wurde schon in Fig. 1 gebracht. Zu Anfang $x = 0$ werden im Dividiergerät (auf Division geschalteten Multipliziergerät) der Zähler y' und der Nenner x beide gleich Null. Diese Besonderheit wird dadurch verarbeitet, daß man aus den gegebenen Anfangswerten und aus der Differentialgleichung den Quotienten $y'/x = 0/0$ mit der üblichen

Regel zu $-1/3$ berechnet und als Anfangs-Divisionsergebnis einstellt. — Der Kopplungsplan Fig. 1 ist nicht der einzig mögliche. Aus verschiedener Anordnung der Rechenoperationen, Umformung der Differentialgleichung, Einführung neuer Veränderlicher, Stieltjesintegration usw. ergeben sich verschiedene Kopplungspläne, unter denen man den bestverwirklichbaren auswählt.

Bei elektrischer Verkopplung erscheint die hier benutzte Darstellungsart der Kopplungspläne durch ihre Übersichtlichkeit zweckmäßiger als die ursprünglich von Bush angewandte und in der Literatur weitverbreitete. Bei dieser werden die Rechengeräte in ihrer gegenseitigen räumlichen Stellung gezeichnet, und durch rechtwinklig sich kreuzende Linien wird mechanische Verkopplung mittels Wellen und Zahnrädern nachgebildet.

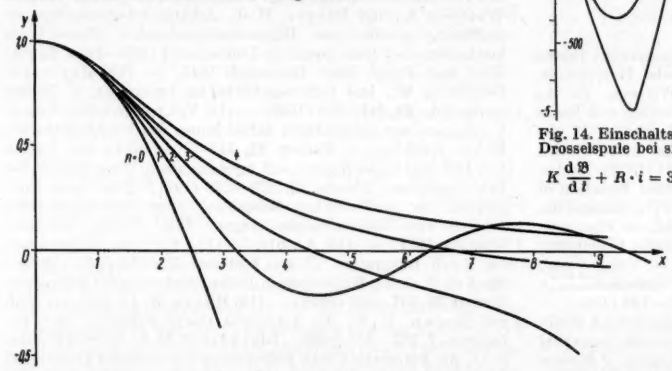


Fig. 11. Lösungen der Emdenschen Differentialgleichung

$$y'' + \frac{2}{x} y' + y^n = 0.$$

Ein wesentlicher Teil der Vorbereitungsarbeit besteht im Berechnen der Maßstäbe für die Veränderlichen in den Rechengeräten. Dazu schätzt man einerseits an Hand der Anfangsbedingungen und der Differentialgleichung, welche Bereiche für die einzelnen Veränderlichen zu erwarten sind. Andererseits hängen aus konstruktiven Gründen die normierten Eingangsveränderlichen und das normierte Ergebnis an den Rechengeräten nach gewissen oben angegebenen Gleichungen zusammen. Diese beiden Anforderungen müssen durch passende Wahl der Wechselgetriebe aufeinander abgestimmt werden. Die Schätzung der Bereiche wird nötigenfalls durch einen oder mehrere Probeläufe gewonnen oder verbessert.

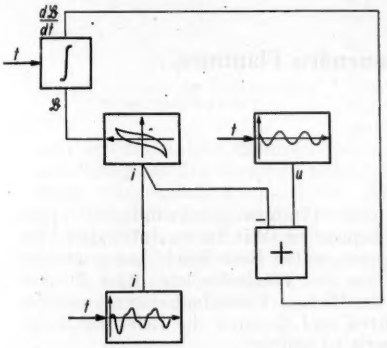


Fig. 12. Kopplungsplan für die Differentialgleichung

$$K \frac{d\mathfrak{B}}{dt} + R \cdot i = u(t).$$

(Verlustbehaftete, eisenhaltige Drosselspule an sinusförmiger Spannung.)

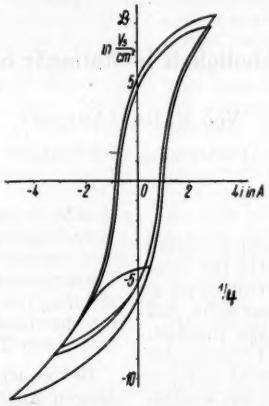


Fig. 13. Hysteresekurven, die beim Bestimmen der Stromkurven $i(t)$ in Fig. 14 benutzt wurden.

Zum Herrichten der Anlage selbst verkoppelt man die Rechengeräte mit Steckschnüren an der Kopplungstafel an Hand des Kopplungsplans unter Berücksichtigung der Vorzeichen und stellt an jedem Rechengerät mit dem zentralen Einrichtemotor die Anfangswerte ein.

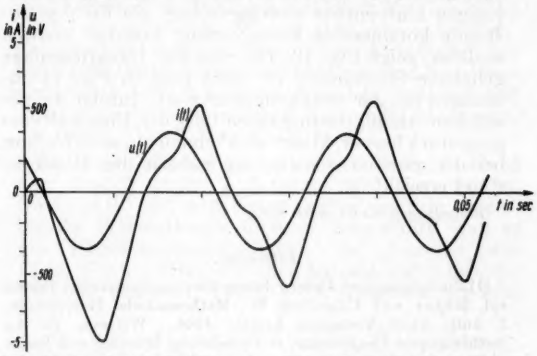


Fig. 14. Einschaltstrom $i(t)$ in einer verlustbehafteten, eisenhaltigen Drosselspule bei sinusförmiger Spannung $u(t)$. Differentialgleichung

$$K \frac{d\mathfrak{B}}{dt} + R \cdot i = 360 \sin(314t + 150°).$$ **Anfangsbedingung $i(0) = 0$.**

Diese rechnerischen und instrumentellen Vorbereitungen erfordern im allgemeinen eine bis mehrere Stunden. Der eigentliche Durchlauf dauert dann 15 bis 30 Minuten. Bei Parameterabwandlung ist die Vorbereitungsarbeit im wesentlichen nur einmal zu leisten, was den Vorteil der Integrieranlage für Serienuntersuchungen beleuchtet. Ein Beispiel bilden in Fig. 11 die Lösungskurven der Emdenschen Differentialgleichung für die ganzzahligen Exponenten $n = 0$ bis 4. Der Kopplungsplan ändert sich nicht. Man braucht nur auf dem y^n-Funktionstisch zu Kurven mit anderen Exponenten überzugehen, die man auf dem Blatt vorbereitet hat. Solche Kurvenblätter mit häufig vorkommenden Funktionen wird man sich ein für allemal in verschiedenen Maßstäben anfertigen (z. B. durch Lösen entsprechender Differentialgleichungen) und vorrätig halten.

Als Beispiel für die Verarbeitung empirischer Funktionen zeigen wir die Bestimmung des Stromverlaufs in einer verlustbehafteten, eisenhaltigen Drosselspule, an welche plötzlich eine sinusförmige Wechselspannung $u(t) = U \sin \omega t$ angelegt wird. Es besteht die Differentialgleichung 1. Ordnung:

$$K \frac{d\mathfrak{B}(i)}{dt} + R \cdot i = u(t).$$

Sie wurde von Klingelhöffer (19) zeichnerisch mit dem Streckenzugverfahren nach Euler und Cauchy behandelt. Dabei mußte zuvor die Magnetisierungskennlinie $\mathfrak{B}(i)$ zeichnerisch differenziert werden, um $\frac{d\mathfrak{B}(i)}{d(t)}$ in $\frac{d\mathfrak{B}}{di} \cdot \frac{di}{dt}$ aufspalten zu können. Der Kopplungsplan Fig. 12 läßt demgegenüber die Vorteile instrumentellen Vorgehens unter Verwendung automatischer Kurvenabtastung erkennen. Das Integriergerät bildet unmittelbar $\mathfrak{B}$ aus $\frac{d\mathfrak{B}}{dt}$, ohne den Umweg über das ungenaue zeichnerische Differen-

zieren $\frac{d\mathfrak{B}}{di}$. Zu $\mathfrak{B}$ greift ein Funktionstisch den gesuchten Strom i ab, und zwar mit Hilfe einer Schar versuchsmäßig gewonnener Hystereseschleifen $\mathfrak{B}(i)$. Diejenigen Kurventeile aus der Schar, die für den zustande kommenden Stromverlauf benutzt werden mußten, zeigt Fig. 13. Die von der Integrieranlage gelieferte Stromkurve $i(t)$ sieht man in Fig. 14 zusammen mit der Spannungskurve $u(t)$. Infolge der gewählten Anfangsbedingungen tritt der Einschaltvorgang stark hervor, klingt aber schnell ab, so daß schon bei der zweiten Schwingung nahezu der Dauerzustand erreicht ist.

Eingegangen am 20. April 1949.

Literatur.

(1) Zur allgemeinen Unterrichtung über mathematische Geräte vgl. Meyer zur Capellen, W., Mathematische Instrumente. 3. Aufl., Akad. Verlagsges. Leipzig 1949. - Willers, Fr. A., Mathematische Instrumente, R. Oldenbourg, München und Berlin 1943. — (2) Thomson, W., Mechanical Integration of the Linear Differential Equations of the Second Order with Variable Coefficients. Proc. roy. Soc. London **24**, 269—271 (1876); Mechanical Integration of the general Linear Differential Equation of any Order with Variable Coefficients, 271—273; Addendum, 273—275. — (3) Hartree, D. R., The ENIAC, an Electronic Computing Machine, Nature **158**, 500—507 (1946); Calculating Machines, University Press, Cambridge 1947. — (4) Dreyer, H.-J., Automatisch arbeitende Geräte für wissenschaftliche Rechnungen. Z. angew. Math. Mech. **25/27**, 141—142 (1947). — (5) Emden, R., Gaskugeln, B. G. Teubner, Leipzig und Berlin 1907. Zahlentafeln für die Lösung vor allem in: Mathematical Tables of the British Association for the Advancement of Science Bd. **2**, Emden Functions, University Press, Cambridge 1932. — (6) Hoelzer, H., Anwendung elektrischer Netzwerke zur Lösung von Differentialgleichungen und zur Stabilisierung von Regelvorgängen. Diss. Technische Hochschule Darmstadt 1946. — (7) Vgl. auch Walther, A., und Dreyer, H.-J., Integrieranlage IPM-Ott zur Auflösung gewöhnlicher Differentialgleichungen (Entwicklung mathematischer Instrumente in Deutschland 1939 bis 1945, Bericht B7d), Inst. Prakt. Math. Darmstadt 1946; On Integrating Plants for Ordinary Differential Equations (Differential Analysers), developed in Germany. Proc. Instn. mech. Engrs. **159**, 74—76 (1948). - Walther, A., Lösung gewöhnlicher Differentialgleichungen mit der Integrieranlage IPM-Ott. Z. angew. Math. Mech. **29**, 37—38 (1949). — (8) Bush, V., The Differential Analyzer. A New Machine for Solving Differential Equations. J. Franklin Inst. **212**, 447—488 (1931). — (9) Ausführliche Beschreibung dieser Anlage mit zahlreichen Literaturangaben auch über Anwendungen bei Crank, J., The Differential Analyser. Longmans, Green & Co., London 1947. — (10) Rosseland, S., Mechanische Integration von Differentialgleichungen, Naturwiss. **27**, 729—735 (1939). — (11) Bush, V. und Caldwell, S. H., A New Type of Differential Analyzer. J. Franklin-Inst. **240**, 255—326 (1945). — (12) Sauer, R., und Pösch, H., Prinzip und Anwendung der Differentialgleichungs-Integriermaschine. Z. Ver. dtsch. Ing. **87**, 221—224 (1943); Zur Theorie der Integriermaschine für gewöhnliche Differentialgleichungen. Z. angew. Math. Mech. **24**, 63—70 (1944). - Pösch, H., Bericht über die Erprobung einer Universal-Integriermaschine für gewöhnliche Differentialgleichungen. Dtsch. Luftf.-Forsch. (ZWB) Unters. u. Mitt. 723/2 (1944); Elektrische Ausrüstung der Differentialgleichungs-Integriermaschine. Habil.-Schr. Techn. Hochsch. Aachen 1944. — Walther, A., und Dreyer, H.-J., Askania-Integrieranlage zur Auflösung gewöhnlicher Differentialgleichungen (Entwicklung mathematischer Instrumente in Deutschland 1939—1945, Bericht B7c). Inst. Prakt. Math. Darmstadt 1947. — (13) Meyer zur Capellen, W., Das Reibradgetriebe als Integrator. Z. Instrumentenkde. **63**, 241—258 (1943). — (14) Vgl. insbesondere Knorr, U., Apparat zur selbsttätigen Aufzeichnung des Fahrdiagrammes. Elektr. Kraftbetr. u. Bahnen **12**, 310—314 (1914); Die Lösung von Differentialgleichungen auf mechanischem Wege mittels des Fahrdiagraphen. Ebenda **19**, 273—288 (1921); Über einen Integraphen zur mechanischen Integration einer sehr allgemeinen Gruppe von Differentialgleichungen. Diss. Techn. Hochsch. München 1921. — (15) Amble, O., On a Principle of Connexion for Bush Integrators. J. sci. Instrum. **23**, 284—287 (1946). - Michel, J. G. L., Extensions in Differential Analyser Technique. Ebenda **25**, 357—361 (1948). — (16) Hazen, H. L., Jaeger, J. J. und Brown, G. S., An Automatic Curve Follower. Rev. sci. Instrum. **7**, 353—357 (1936). - Blackett, P. M. S., und Williams, F. C., An Automatic Curve Follower for Use with the Differential Analyser. Proc. Cambr. philos. Soc. **35**, 494—505 (1939). — (17) Dreyer, H.-J., Ein Gerät zum selbsttätigen Abtasten gezeichneter Funktionskurven. Dtsch. Luftf.-Forsch. (ZWB) Forsch.-Ber. **1979** (1944). - Walther, A., und Dreyer, H.-J., Gerät zum selbsttätigen Abtasten gezeichneter Funktionskurven (Entwicklung mathematischer Instrumente in Deutschland 1939—1945, Bericht B2a). Inst. Prakt. Math. Darmstadt 1947. — (18) Vgl. z. B. Bückner, H., Die Integriermaschine. Vervielf. Bericht, 159 S., Minden 1947; The Differential Analyser (A theory of set-ups with several free inputs). 101 S. (1948). — (19) Klingelhöffer, H., Stromverlauf in einem Wechselstromkreis mit Ohmschem Widerstand und eisenhaltiger Drossel. Arch. Elektrotechn. **26**, 419—423 (1932).

Die Flammengeschwindigkeit in stationär brennenden Flammen.

Von E. Bartholomé.

(Fortsetzung und Schluß.)

IV. Wärmeflammen.

Wir wollen uns zunächst näher mit dem Grenzfall der tiefen Temperaturen beschäftigen. Da für diese Flammen praktisch nur die Flammenendtemperatur von Bedeutung ist, liegt die Vermutung nahe, daß es sich hierbei um reine Wärmevorgänge handelt. Ansätze für eine Wärmetheorie der Flammengeschwindigkeit sind schon sehr früh gemacht worden. Sie gehen von der Vorstellung aus, daß das anströmende Frischgas durch Wärmeleitung von der Flammenzone her so weit erwärmt wird, bis infolge der Temperaturerhöhung die chemische Reaktion einsetzt. Doch war es bis jetzt infolge der mathematischen Schwierigkeiten nicht möglich, die Theorie ohne einschneidende Zusatzannahmen durchzuführen. Aus diesem Grunde ist es erklärlich, wenn sich trotz einiger qualitativer Erfolge der Wärmetheorie in der letzten Zeit die Stimmen mehren, die der Wärmetheorie der Flammengeschwindigkeit jede Berechtigung absprechen. Wir haben daher den Versuch unternommen, unter Berücksichtigung unseres Versuchsmaterials die Wärmetheorie ohne Hinzuziehung von wesentlichen Vereinfachungen geschlossen durchzuführen und dadurch die Leistungsfähigkeit dieser Theorie zu prüfen.

Bevor ich hierauf näher eingehe, muß ich die älteren Ansätze wenigstens in ihren Grundgedanken skizzieren. Die erste Formel für die Flammengeschwindigkeit ist von Mallard und Le Chatelier (6) aufgestellt worden. In Fig. 9 ist der Temperaturverlauf in der Flammenzone qualitativ aufgetragen. Das Frischgas strömt mit der Temperatur T_0 an. Durch Wärmeleitung wird es so weit erwärmt, daß es die Zündtemperatur T_z erreicht. Bei dieser Temperatur setzt die chemische Reaktion ein und erwärmt das Gas auf die Endtemperatur T_e. Mal-

lard und Le Chatelier betrachten nun den Wärmestrom an der Stelle x_z, an der die Zündtemperatur erreicht ist. Damit die Flamme stationär brennt, muß auf das mit der Geschwindigkeit w anströmende Frischgas ständig die Wärmemenge $c_p \cdot w \cdot (T_z - T_0)$ übertragen werden. Dieser Wärmestrom muß durch das Temperaturgefälle $\frac{dT}{dx}$ an der Stelle x_z aufrechterhalten werden. Die genannten Autoren machen nun die offensichtlich willkürliche Annahme, daß das Temperaturgefälle an der Stelle x_z proportional der Differenz $(T_e - T_z)$ ist. Mit dieser Annahme erhalten sie dann für die Flammengeschwindigkeit w_f den Ausdruck:

$$w_f = \frac{k \cdot \lambda}{c_p} \frac{T_e - T_z}{T_z - T_0}.$$

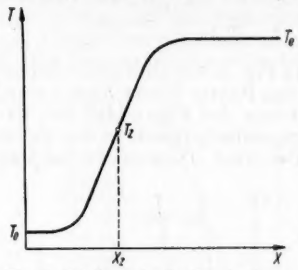


Fig. 9. Ableitung der Le Chatelierschen Formel.

Spätere Autoren haben nun versucht, für das Temperaturgefälle am Zündpunkt plausiblere Annahmen einzuführen. Ansätze in dieser Richtung sind von Crussard, Jouget, Nusselt, Eucken u. a. gemacht worden. Diese Ansätze haben alle das gemeinsam, daß sie das Temperaturgefälle am Zündpunkt in Verbindung bringen mit der chemischen Reaktionsgeschwindigkeit oberhalb des Zündpunktes. Eine sehr durchsichtige Darstellung dieses Gedankenganges stammt von Eucken (7). Er setzt das Temperaturprofil oberhalb des Zündpunktes linear an (Fig. 10). Als Proportionalitätsfaktor tritt wieder die Größe $T_e - T_z$ auf. Weiter setzt er den chemischen Umsatz als linear mit der Entfernung fortschreitend an, wodurch der Temperaturgradient proportional dem chemischen Umsatz pro Wegeinheit wird. Das ist typisch für die ganze Gruppe von Ansätzen. Da nämlich diese Größe gleich ist dem Umsatz pro Zeiteinheit, dividiert durch die Strömungsgeschwindigkeit des Gases, so wird der Temperaturgradient umgekehrt proportional der Strömungsgeschwindigkeit. Zum Unterschied gegen die Le Chatelier sche Formel tritt daher jetzt in der Endformel w_f^2 statt w_f auf. Sonst sind die Formeln dieser 2. Gruppe der Le Chatelierschen ähnlich. Vor allem tritt in ihnen immer die Größe

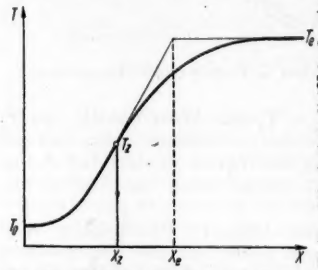


Fig. 10. Ableitung der Nusselschen Formel nach Eucken.

$$\frac{\lambda}{c_p} \frac{(T_e - T_z)}{(T_z - T_0)}$$

auf.

Man hat nun oft versucht, diese Formeln für die Flammengeschwindigkeit an der Erfahrung zu prüfen. Man konnte aber keine unabhängigen Angaben für die chemische Reaktionsgeschwindigkeit oberhalb des Zündpunktes und über die Höhe des Zündpunktes machen. Denn daß die hier vorkommende Größe T_z nichts mit den in statischen Versuchen bestimmten Zündtemperaturen zu tun hatte, wurde sofort klar, als man Flammen mit größerer Vorwärmung untersuchte. Einer quantitativen Prüfung blieb daher nur die Aussage $w_f^2 \sim \frac{\lambda}{c_p}$ zugängig. Ersetzt man z. B. in Methan-Luft-Flammen den Stickstoff durch CO_2, so wird hierdurch die Wärmeleitfähigkeit des Gemisches kaum, die spezifische Wärme aber sehr vergrößert. Entsprechend sinkt die Flammengeschwindigkeit auf die Hälfte. Für quantitative Schlüsse sind diese Versuche aber deshalb nicht zu brauchen, weil sich mit c_p auch die Endtemperatur ändert und deshalb auch die Größe $T_e - T_z$ beeinflußt wird.

Es bleiben also nur solche Versuche übrig, in denen alle Größen außer λ konstant gehalten werden. Coward (8) hat nun dieses „experimentum crucis" für die Wärmetheorie dadurch ausgeführt, daß er die Flammengeschwindigkeit der Flamme von $1\,CH_4 + 2O_2 + 8He$ verglichen hat mit derjenigen der Flamme von $1\,CH_4 + 2O_2 + 8A$ (Tabelle 4). Er fand

Tab. 4. W_f und λ von Flammen in A- bzw. He-Atmosphären.

Gemisch	10 CH_4, 18,8 O_2, 2,85 N_2, 68,35 A	10 CH_4, 18,8 O_2, 2,85 N_2, 68,35 He
W_f	59 cm/sec	82 cm/sec
W_f He/W_f A	1,39	
λ 2000°	$2{,}68 \cdot 10^{-4}$ cal/Grad cm sec	$4{,}66 \cdot 10^{-4}$ cal/Grad cm sec
λ_{He}/λ_A	1,74	
$\sqrt{\lambda_{He}/\lambda_A}$	1,32	

für das Verhältnis der beiden Flammengeschwindigkeiten den Wert 1,39. Merkwürdigerweise hat weder Coward noch irgendein anderer den Versuch unternommen, die Wärmeleitfähigkeiten dieser beiden Gemische zu bestimmen, was zumindest bei Zimmertemperatur kein Problem wäre. Man hat vielmehr bisher so argumentiert, daß bei Anwendung der Mischungsregel ein erheblich höherer Wert für das Verhältnis der Wärmeleitfähigkeiten der beiden Mischungen herauskommt als 1,4[2] und daß deshalb das „experimentum crucis" gegen die Wärmetheorie spricht.

Diese Schlußweise ist aber irrig. Man kann sich überlegen, daß die Wärmeleitfähigkeiten der Gemische erheblich ähnlicher sein müssen, als man bei Anwendung der Mischungsregel herausbekommt. Zunächst muß man die Wärmeleitfähigkeiten am Zündpunkt betrachten. Bei höherer Temperatur fallen aber die Beiträge der mehratomigen Molekeln gegenüber dem Beitrag der Edelgase mehr ins Gewicht als bei Zimmertemperatur. Dann muß aber auch die partielle Wärmeleitfähigkeit des Heliums in Gemischen mit größeren und schwereren Molekeln kleiner sein als die Leitfähigkeit des reinen He. Wenn im Gemisch erheblich größere Molekeln sind, wird ja die freie Weglänge des He herabgesetzt. Sehr bedeutsam ist aber auch der Umstand, daß die große Wärmeleitfähigkeit des reinen Heliums zum großen Teil darauf beruht, daß beim Stoß zweier gleich schwerer Molekeln die Bewegungsrichtung der schnelleren Molekel auch nach dem Stoß von beiden Stoßpartnern bevorzugt ist. Fliegen von einer heißen Wand schnellere Molekeln auf eine kältere Wand zu, so bleibt diese Richtung auch nach dem Stoß mit langsameren, von der kalten Wand kommenden Molekeln bevorzugt. Stößt aber eine leichtere Molekel auf eine erheblich schwerere Molekel, so geht diese Persistenz der Flugrichtung verloren. Nach dem Stoß sind alle Bewegungsrichtungen gleich wahrscheinlich, so daß eine deutliche Verkleinerung der Wärmeleitfähigkeiten folgen muß.

Alle diese Gründe sprechen dafür, daß der Beitrag des He zur Wärmeleitfähigkeit des Gemisches erheb-

lich kleiner ist als bisher angenommen wurde. Herr Prof. Schäfer hat daher auf meine Bitte einmal die Wärmeleitfähigkeiten der beiden Gemische so exakt, wie man es heute gaskinetisch kann, berechnet. Wie die Tabelle 4 zeigt, findet er für das Verhältnis der Wärmeleitfähigkeiten der beiden Gasmischungen den Wert 1,74. Die Wurzel daraus ist 1,32. Das ist innerhalb der jeweiligen Fehlergrenzen aber gerade das Verhältnis der gemessenen Flammengeschwindigkeit. Wir können also im Gegensatz zu den früheren Behauptungen sagen, daß das „experimentum crucis" eindeutig für und nicht gegen die Wärmetheorie ausgefallen ist.

Dieses Ergebnis bestärkte bei uns die Meinung, daß zumindest bei den bei tiefen Temperaturen brennenden Flammen die Grundvorstellung der Wärmetheorie richtig ist und daß man versuchen müßte, ohne willkürliche Zusatzannahmen die Theorie durchzuführen. Als Grundgleichungen für die Theorie stehen die Stoff- und Wärmebilanzen zur Verfügung. Da wir nach der Geschwindigkeit im stationären Zustand fragen, müssen in jedem Volumelement die Konzentrationen der beteiligten Stoffe und der Wärmeinhalt zeitlich konstant sein. Die Konzentration der als charakteristisch herausgegriffenen Molekelsorte 1 ändert sich in jedem Volumelement einmal dadurch, daß auf der einen Stirnseite des Volumelements Molekeln einströmen und auf der gegenüberliegenden Seite Molekeln abströmen. Sodann verschwindet ein bestimmter Teil in dem Volumelement infolge des chemischen Umsatzes. Im stationären Zustand muß die Summe der beiden Änderungen Null sein. In der Wärmebilanz treten drei Glieder auf. Zunächst wird durch die Gasströmung auf der einen Seite Wärme in das Volumelement herein- und auf der anderen Seite abgeführt. Sodann wird der Wärmeinhalt des Volumelements durch Wärmeleitung verändert, wenn der Temperaturgradient an den beiden Endflächen verschieden ist. Schließlich wird Wärme in dem Volumelement frei, wenn in ihm ein chemischer Umsatz erfolgt. Die Summe aller Änderungen muß wieder Null sein.

Schreibt man die Bilanzgleichungen in Formeln auf, so muß man zunächst einen analytischen Ausdruck für den chemischen Umsatz einsetzen. Je nach dem individuellen Reaktionsmechanismus wird dieser Ausdruck verschieden lauten müssen. Damit werden aber auch die Differentialgleichungen abhängig von der speziellen Form der Gleichung für die Reaktionsgeschwindigkeit. Daraus folgt aber, daß wir durch Auflösen der Differentialgleichungen nicht einen universellen Ausdruck für die Flammengeschwindigkeit erwarten dürfen, daß dieser vielmehr noch je nach dem für den Reaktionsmechanismus gültigen Formalismus variieren muß. Auf diesen Punkt ist bisher noch nirgendwo hingewiesen worden.

Wir setzen daher zunächst möglichst allgemein für die Reaktionsgeschwindigkeit den Ausdruck $n_1^{\alpha} e^{-A/RT}$ ein, wobei über den Exponenten α noch verfügt werden kann. Dann lautet die Stoffbilanz:

$$\frac{\mathrm{d}\, n_1}{\mathrm{d}\, t} = 0 = -\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\, x}(w \cdot n_1) - n_1^{\alpha}\, e^{-A/RT}.$$

Die Wärmebilanz ergibt:

$$\frac{\mathrm{d}\, T}{\mathrm{d}\, t} = 0 = -c_p \cdot w \cdot \frac{\mathrm{d}\, T}{\mathrm{d}\, x} + \lambda \cdot \frac{\mathrm{d}^2\, T}{\mathrm{d}\, x^2} + q \cdot n_1^{\alpha} \cdot e^{-A/RT}.$$

Wenn es nun gelänge, diese Differentialgleichungen für beliebige Werte der Konstanten für den ganzen Temperaturbereich von T_0 bis T_e zu lösen, so hätte man die Aufgabe gelöst. Das ist aber leider nicht möglich. Das Vorkommen der e-Potenz neben den Differentialquotienten macht eine geschlossene mathematische Lösung unmöglich. Das ist auch der Grund, weshalb die bisherigen Ansätze zu Zusatzannahmen gegriffen haben.

Wir wollen daher zunächst den einfacheren Fall betrachten, daß die Glieder, welche die Reaktionsgeschwindigkeit enthalten, Null sind. Wir beschränken uns also zunächst auf den Temperaturbereich, in dem noch keine Reaktion eingesetzt hat. Diese vereinfachte Differentialgleichung ist allgemein lösbar. Die Lösung lautet (9):

$$T = T_0 + (T_1 - T_0)\, e^{\frac{w \cdot c_p}{\lambda} x}.$$

Diese Funktion ist in Fig. 11 für zwei verschiedene Werte von w, die um den Faktor 2 verschieden sind, dargestellt. Man sieht aus der Figur, daß bei Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit w das ganze Temperaturprofil steiler wird. Denken wir uns an

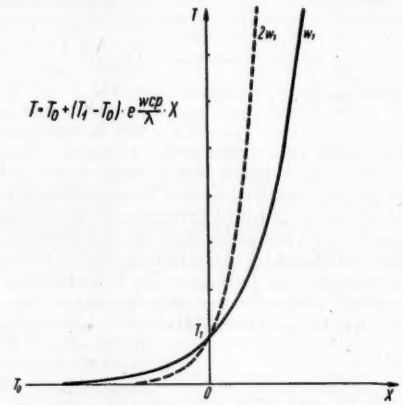


Fig. 11. Temperaturverlauf im Bereich reiner Wärmeleitung.

der Stelle $x = 0$, $T = T_1$ eine Wärmequelle, die T_1 auf konstanter Höhe läßt, so erkennt man, daß bei schnellerer Strömung die Wärme weniger tief in das Frischgas eindringt, was ja auch unmittelbar anschaulich ist.

Wesentlich ist nun folgende Feststellung: Die Differentialgleichungen geben für alle angegebenen Werte von λ, c_p, T_1 und w eine Lösung. Das besagt aber nichts anderes, als daß in dem Bereich, in dem keine chemische Reaktion eintritt, jeder Wert für die Strömungsgeschwindigkeit möglich ist. Erst wenn man an irgendeiner Stelle T eine ganz bestimmte Neigung $\frac{\mathrm{d}\, T}{\mathrm{d}\, x}$ verlangt, wird aus der Schar der möglichen Lösungen eine ganz bestimmte herausgegriffen und damit eine bestimmte Geschwindigkeit als Flammengeschwindigkeit festgelegt. Das ist aber gerade das, was in den älteren Ansätzen gemacht wird. Am Zündpunkt wird ein bestimmter Temperaturgradient, der $\sim(T_e - T_z)$ sein soll, ziemlich willkürlich eingeführt. Aus der voranstehenden Betrachtung erkennt man, daß hierdurch ein wesentlicher Bestandteil des Endresultates als Annahme vorher in die Rechnung eingeführt worden ist. Das ist die Schwäche dieser Ansätze.

Man kann das in Fig. 11 gezeigte Ergebnis noch von einer anderen Seite her diskutieren. Wenn durch irgendwelche Vorgänge in dem Bereich, in dem sowohl Wärmeleitfähigkeit wie chemische Reaktion von Bedeutung sind, eine ganz bestimmte Geschwindigkeit als Flammengeschwindigkeit festgelegt ist, so kann

sich immer in dem Bereich, in dem nur Wärmeleitfähigkeit zu berücksichtigen ist, ein zu dieser Geschwindigkeit passendes Temperaturprofil ausbilden. Das besagt aber nichts anderes, als daß die Untersuchung des reinen Aufheizungsbereiches für die Frage, weshalb sich gerade eine bestimmte Geschwindigkeit als Flammengeschwindigkeit einstellt, völlig ohne Bedeutung ist.

Wir kehren nun zur Diskussion der vollständigen Differentialgleichung zurück. Ich hatte schon betont, daß für beliebige Werte der Konstanten und des zu betrachtenden Bereiches die Gleichungen nicht lösbar sind. Wenn man hier weiterkommen will, muß man auf Grund der experimentellen Ergebnisse irgendwelche Einschränkungen für den Anwendungsbereich

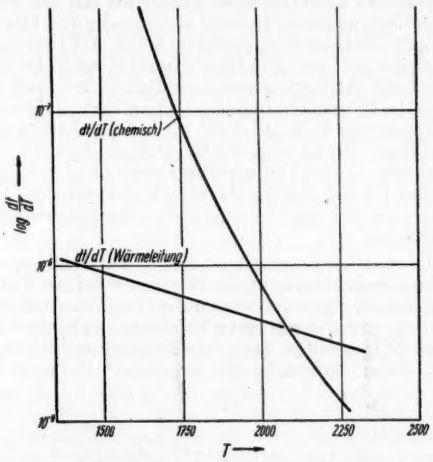


Fig. 12. Erwärmungszeit bei chemischer Reaktion und bei Wärmeleitung. $1\,CH_4 + 2\,O_2 + 8\,N_2 \rightarrow CO_2 + 2\,H_2O + 8\,N_2$
$\left(\frac{dl}{dT}\right)_1 = \left(\frac{dl}{dT}\right)_2$ bei ~ 2100° K = 0,93 Te.

suchen. Das ist nun in der Tat möglich. Sowohl die Versuche mit Kraftstoffen verschiedener Oktanzahl, wie mit Zusätzen von Antiklopfmitteln, sowie vor allem die Versuche mit sehr hohen Vorwärmungstemperaturen zeigen ganz eindeutig, daß in stationär brennenden Flammen der chemische Umsatz sich erst bei hohen Temperaturen abspielt. Die Aufheizung auf diese hohe Temperatur erfolgt durch reine Wärmeleitfähigkeit.

Dieser für die Weiterentwicklung der Theorie äußerst wichtige Satz läßt sich noch auf einem ganz anderen Wege erhärten. Für die schon mehrmals als Beispiel herangezogene Reaktion $CH_4 + O_2$ hat vor einigen Jahren Sachsse (10) die Induktionszeit im Temperaturbereich von 1100° bis 1300° K gemessen. Aus diesen Versuchen läßt sich als Funktion der Temperatur T die Zeit berechnen, die das irgendwie auf diese Temperatur vorgewärmte Gemisch braucht, um allein durch Einsetzen der chemischen Reaktion ein Grad wärmer zu werden. Diese Zeit ist in Fig. 12 als $\frac{dl}{dT}$ (chemisch) aufgetragen. Diese Zeit nimmt mit steigender Temperatur entsprechend der gemessenen Aktivierungswärme von 62000 cal stark ab. Auf der anderen Seite kann man sich nach der oben diskutierten Formel für den Bereich reiner Wärmeleitung ausrechnen, wie groß die für die Erwärmung um 1 Grad durch Wärmeleitung benötigte Zeit ist, wenn man als Strömungsgeschwindigkeit die experimentell bestimmte Flammengeschwindigkeit einsetzt. Diese Aufheizungszeit ist bis 2100° kleiner als die Aufheizungszeit durch chemische Reaktion. Wenn man beachtet, daß in der Figur für die Zeit ein logarithmischer Maßstab gewählt wurde, so erkennt man, daß bis dicht unterhalb von 2100° der Unterschied der beiden Zeiten ein größenordnungsmäßiger ist. Daraus folgt aber, daß in diesem Bereich die Aufheizung ausschließlich durch Wärmeleitung erfolgt, da die chemische Reaktion gar keine Zeit hat, einzusetzen. Nun liegt aber die in der Methan-Luft-Flamme erreichbare Endtemperatur bei 2228° K. Die Zündtemperatur ist also gar nicht viel kleiner als die Flammenendtemperatur.

Man kann dieses an der Methanflamme gefundene Ergebnis auf alle Wärmeflammen verallgemeinern. Die Aktivierungswärmen der chemischen Reaktionsgeschwindigkeit müssen alle mindestens von ähnlicher Größenordnung sein. Sonst ist nicht zu erklären, daß die brennbaren Gemische sich bei Zimmertemperatur jahrelang ohne Anzeichen von Reaktion aufbewahren lassen, während sie in der Flamme in äußerst kurzer Zeit abreagieren. Daher wird die Induktionszeit sehr stark mit steigender Temperatur abnehmen, während sich die für die Aufwärmung benötigte Zeit erheblich weniger stark ändert. Zerlegt man nun in Gedanken die gesamte Temperaturerhöhung in der Flamme in zwei aufeinanderfolgende Schritte, den der Aufheizung durch Wärmeleitfähigkeit und den durch chemische Reaktion, so wird nach dem Gesetz der kürzesten Reaktionszeit sich als stationäre Strömungsgeschwindigkeit die einstellen, bei der der Gesamtvorgang in der kürzesten Zeit ablaufen kann. Das wird aber eine so große Geschwindigkeit sein, daß die chemische Reaktion erst kurz unterhalb der Flammenendtemperatur einsetzt, da dann die für die Reaktion benötigte Zeit am kürzesten ist. Die Zündtemperatur kann natürlich die Flammentemperatur nicht ganz erreichen, da sonst kein Temperaturgefälle mehr bestehen würde, das einen beträchtlichen Teil der frei werdenden Reaktionswärme auf das Frischgas übertragen könnte. Je näher die Zündtemperatur an der Endtemperatur liegt, um so größer ist ja dieser Anteil, da die Temperatur nicht über die Flammenendtemperatur steigen darf.

Als Ergebnis dieser Überlegungen nehmen wir also als zusätzliche Annahme in unsere Theorie den Satz auf, daß die Zündtemperaturen nicht, wie es in den ersten Ansätzen zunächst angenommen wurde, bei mittleren Temperaturen, sondern nicht weit entfernt von den Endtemperaturen liegen. Die genauen Werte brauchen wir nicht festzulegen. Für das folgende genügt es, wenn die Zündtemperaturen nicht tiefer als etwa bei 90% der Endtemperaturen liegen. Dann können wir nämlich in unseren Differentialgleichungen die Temperaturabhängigkeit der chemischen Reaktionsgeschwindigkeit anstatt durch den Ausdruck $e^{-A/RT}$, der die Lösung der Gleichungen unmöglich machte, mit ausreichender Genauigkeit durch eine andere Funktion beschreiben, für welche die Gleichungen lösbar werden. Die Gestalt dieser Ersatzfunktion hängt dabei noch von der Ordnung ab, nach der die chemische Reaktion verläuft. Der Einfachheit halber will ich die weitere Entwicklung nur für den Fall der Reaktion zweiter Ordnung schildern. Da es unwahrscheinlich ist, daß der chemische Umsatz bei den in Flammen zur Verfügung stehenden sehr kurzen Verweilzeiten nach einem Reaktionsmechanismus von höherer als zweiter Ordnung ablaufen kann, so werden wir auf diese Weise einen unteren Grenzwert für die Flammengeschwindigkeit erhalten.

Wir zerlegen nun zunächst den ganzen Anwendungsbereich der Differentialgleichungen in zwei Teile. Im ersten Teilbereich soll die chemische Reaktion neben dem Vorgang der Wärmeleitfähigkeit

keine Rolle spielen. Hier haben wir also den schon früher diskutierten Fall der reinen Wärmeleitfähigkeit. Im zweiten Bereich beschreiben wir den chemischen Umsatz anstatt durch $n_1^2\, e^{-A/RT}$ durch $n_1^2\, \gamma\, T^2$. Da wir wissen, daß dieser Bereich sich höchstens von 0,9 T_e bis 1 T_e erstreckt, kann man die Konstante γ etwa so festlegen, daß die beiden Funktionen bei $T = 0{,}95\ T_e$ den gleichen Wert haben. An den Enden des Bereiches weicht dann die Ersatzfunktion höchstens um den Faktor 2 von der wirklichen Funktion ab. Diese vereinfachten Differen

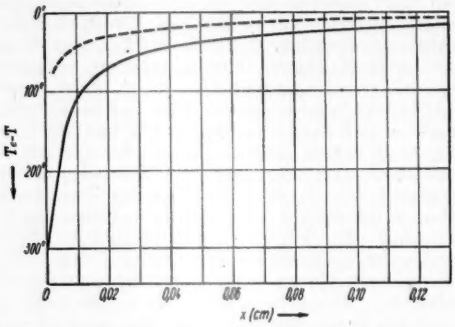


Fig. 13. Temperaturverlauf im Bereich chemischer Reaktion.
——— $w = w_f$ für CH_4 — Luft
------- $w = {}^1/_2\, w_f$ für CH_4 — Luft

tialgleichungen lassen sich nun integrieren. Ich will auf die Einzelheiten dieser Integration nicht näher eingehen, sondern das Ergebnis an Hand der Fig. 13 erläutern.

Die Lösung lautet:

$$T = T_e + A\, w^2 e^{(B w x + C w^2)}\, \mathcal{E}i\,(B w x + C w^2).$$

In den Konstanten A, B und C sind nur bekannte Größen zusammengefaßt. Wir erhalten also wieder Kurvenscharen, die die Strömungsgeschwindigkeit w als Parameter enthalten. In der Fig. 13 sind nun die Konstanten so eingesetzt, wie sie sich für die CH_4-Luft-Flamme ergeben, und die Lösung einmal für die gemessene Flammengeschwindigkeit, das zweite Mal für eine halb so große Geschwindigkeit aufgetragen.

Diese Kurven sind in zweifacher Hinsicht interessant. Zunächst sieht man, daß die eigentliche Reaktionszone erheblich breiter ist als man bisher annahm. Dieses hier theoretisch abgeleitete Resultat ist auch experimentell bestätigt. Lewis und von Elbe (11) haben in sehr sorgfältigen Messungen den Temperaturverlauf in Flammen nach der Methode der Linienumkehr ausgemessen. Sie fanden nun bei mit Luft brennenden Flammen, daß die Flammenendtemperatur erst einige Millimeter hinter dem leuchtenden Flammensaum erreicht wird. Den naheliegenden Schluß, daß die chemische Reaktion am Ende der leuchtenden Zone noch nicht abgelaufen ist, haben diese Autoren noch nicht in aller Klarheit gezogen.

Für den Fortgang unserer Entwicklung wichtig ist nun die Feststellung, daß für eine vorgegebene Temperatur die Kurven eine um so geringere Neigung haben, je größer die Strömungsgeschwindigkeit ist. Das kann man auch anschaulich einsehen. Je schneller die Strömungsgeschwindigkeit ist, um so mehr wird sich bei gegebener Temperatur die Reaktionszone räumlich auseinanderziehen.

Damit sind wir soweit, daß wir unsere Theorie zum Ende führen können. Wir haben sowohl für die Aufheizungszone wie für die Reaktionszone Ausdrücke für den Temperaturverlauf gewonnen, die als Parameter nur noch die Strömungsgeschwindigkeit enthalten. Als stationäre Strömung, d. h. als Flammengeschwindigkeit, kann sich nun nur die eine Strömung einstellen, die an der Berührungsstelle der beiden Bereiche einen stetigen Temperaturverlauf ergibt. Die Verhältnisse an dieser Berührungsstelle sind in Fig. 14 noch einmal näher erläutert. Wenn die Strömungsgeschwindigkeit kleiner als die stationäre ist, so kann die chemische Reaktion schon bei etwas tieferer Temperatur einsetzen. Bei dieser zu kleinen Strömungsgeschwindigkeit ist aber das Temperaturgefälle auf der Seite der Reaktionszone steiler als auf der Seite der Aufheizungszone. Es wird also aus der Reaktionszone mehr Wärme herangeführt, als in das Frischgas abfließen kann. Der Zündpunkt muß steigen. Ist umgekehrt die Strömungsgeschwindigkeit zu groß, so wird mehr Wärme ins Frischgas abgeführt, als aus der Reaktionszone nachgeliefert wird. Der Zündpunkt muß sinken. Nur wenn an der Berührungsstelle die Neigungen der beiden Temperaturkurven identisch sind, kann der Prozeß zeitlich unveränderlich werden. Das ist aber nur für eine einzige Strömungsgeschwindigkeit möglich.

Mathematisch gesprochen heißt das, daß wir an der Berührungsstelle sowohl die Werte der beiden Funktionen, die als Parameter noch die Geschwindigkeit w enthalten, sowie deren erste Ableitungen gleichsetzen müssen. Wir erhalten dann eine Bedingungsgleichung für w, deren Auflösung die gesuchte Gleichung für

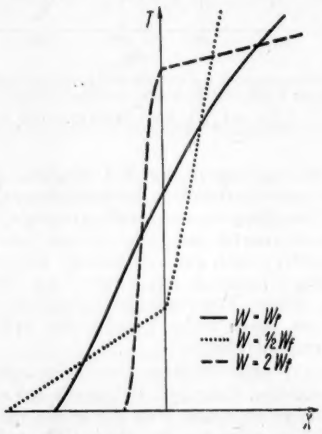


Fig. 14. T als Funktion von X in der Nachbarschaft des Zündpunktes.

die sich stationär einstellende Flammengeschwindigkeit ist. Diese Endformel für die gesuchte Flammengeschwindigkeit lautet:

$$w_f^2 = \frac{n_1 \cdot \lambda \cdot p^2 \cdot \gamma}{n \cdot c_p \cdot R^2}\, \frac{(T_e - T_0)}{(T_z - T_0)}.$$

Sie hat gewisse Ähnlichkeit mit der Nusseltschen Formel. So enthält sie das Glied $\frac{\lambda}{c_p}$. Ebenso enthält sie im Nenner den Ausdruck $(T_z - T_0)$, der in allen anderen Ausdrücken ebenfalls vorkam. Dagegen tritt jetzt im Zähler an Stelle $(T_e - T_z)$ der Ausdruck $\frac{n_1}{n}\,(T_e - T_0)$. Schließlich tritt als wesentlicher Fortschritt an Stelle eines unbestimmbaren

Ausdruckes für die Reaktionsgeschwindigkeit die Größe γ auf, welche zahlenmäßig anzugeben ist, sobald man die Aktivierungswärme der Reaktion kennt. Wenn man auf den ursprünglichen Zusammenhang zwischen γ und $e^{-A/RT}$ zurückgreift und überlegt, daß die Ersatzfunktion für $e^{-A/RT}$ nur in der Nähe von T_e zu passen braucht, so kann man unter Hinnahme einer kleinen numerischen Verschlechterung, aber zur größeren Anschaulichkeit den Ausdruck $\gamma \approx \frac{e^{-A/RT_e}}{T_e^2}$ in die Endformel einführen. Dann erhält man

$$w_f^2 = \frac{n_1 \lambda p^2}{n c_p R^2} \cdot \frac{e^{-A/RT_e}}{T_e^2} \frac{(T_e - T_0)}{(T_z - T_0)}.$$

Bei der Diskussion der Endformel muß ich noch auf einen Punkt hinweisen. Da die ganze Flammenzone in zwei Bereiche geteilt worden ist, für welche verschiedene Lösungen gültig sind, haben wir implizite den Begriff eines Zündpunktes benutzt. Gegen diesen Begriff sind schon oft sehr begründete Bedenken geäußert worden. Die chemische Reaktion setzt ja in Wirklichkeit nicht sprunghaft bei einer bestimmten Temperatur, sondern kontinuierlich ein. Diese prinzipiellen Einwände lassen sich natürlich auch gegen unsere Ableitung erheben. Das Gewicht dieser Einwände wird aber in der Praxis ganz erheblich vermindert durch unser Postulat, daß der Zündpunkt bei einer sehr hohen Temperatur liegt. In diesem Falle ist nämlich das Temperaturgefälle auf der Aufheizungsseite so steil, daß das Einsetzen der chemischen Reaktion auf einer äußerst kurzen Strecke erfolgt, die man mathematisch gut durch einen Punkt beschreiben kann. Daß unter dieser Voraussetzung der tatsächlich verwendete Wert für die Zündtemperatur praktisch ohne Einfluß auf die Flammengeschwindigkeit ist, sieht man daraus, daß T_z in der Endformel nur in der Kombination $\frac{T_e - T_0}{T_z - T_0}$ vorkommt. Dieser Ausdruck ist so wenig von 1 verschieden, daß wir ihn für die weiteren Betrachtungen konstant als 1 ansetzen.

Die aufgefundene Formel für die Flammengegeschwindigkeit kann nun auf verschiedene Weise an der Erfahrung geprüft werden. Über die Abhängigkeit von λ ist schon ausführlich gesprochen worden, so daß sich hier ein näheres Eingehen erübrigt. Die gefundene Abhängigkeit von der Endtemperatur wird in unserer Formel durch die Größe $\frac{e^{-A/RT_e}}{T_e^2}$ wiedergegeben. Diese Abhängigkeit ist nicht sehr stark. Für die Verhältnisse der CH_4-Luft-Flamme findet man in der Gegend von 2200° K ein Anwachsen dieses Ausdruckes um den Faktor 2, wenn die Temperatur T_e um 100° steigt. Daraus folgt ein Wachsen der Flammengeschwindigkeit um $\sqrt{2}$, was genau der Wert ist, den Fig. 6 zeigt.

Über die Druckabhängigkeit der Flammengeschwindigkeit liegen nur sehr wenige und nicht sehr genaue Messungen vor. Diese zeigen, daß die Druckabhängigkeit, wenn sie überhaupt vorhanden ist, äußerst klein ist. Drückt man in unserer Formel die Geschwindigkeit nicht in Molen/cm² sec., sondern wie üblich in cm/sec des unter Normalbedingungen gemessenen Frischgases aus, so ergibt sich

$$v_0^2 = \frac{n_1 \cdot \lambda}{n \cdot c_p} \cdot \frac{T_0^2}{T_e^2} e^{-A/RT_e} \frac{(T_e - T_0)}{(T_z - T_0)}.$$

Das heißt aber, daß die Druckabhängigkeit Null ist. Für andere Ansätze für den Reaktionsmechanismus folgen andere Werte für die Druckabhängigkeit, z. B. für einen monomolekularen Ansatz $v_0^2 \sim \frac{1}{p}$. Es bietet sich so die Möglichkeit, durch exakte Messungen der Druckabhängigkeit zu Aussagen über die Reaktionsordnung zu gelangen.

Schließlich sei noch die Abhängigkeit von der Vorwärmungstemperatur diskutiert. Da die Flammengeschwindigkeit üblicherweise in cm/sec des unter Normalbedingungen gemessenen Gases angegeben wird, geht man am besten auf die Formel für w zurück. Abgesehen von dem Glied $\frac{T_e - T_0}{T_z - T_0}$, das als konstant angesehen werden kann, enthält die Formel T_0 nicht unmittelbar. Mittelbar beeinflußt T_0 die Endtemperatur. Man erhält also die Abhängigkeit der Flammengeschwindigkeit von der Vorwärmungstemperatur, indem man die Gleichung zunächst nach T_e differenziert und dann mit $\frac{dT_e}{dT_0}$ multipliziert. Das ist aber gerade der experimentelle Befund, daß eine Vorwärmung des Frischgases auf die Flammengeschwindigkeit gerade so stark einwirkt, wie die durch die Vorwärmung bedingte Erhöhung der Flammenendtemperatur.

Schließlich läßt unsere Formel eine Absolutberechnung der Flammengeschwindigkeit zu, wenn die Aktivierungswärme bekannt ist. Das ist, wie schon erwähnt, für die CH_4-Luft-Flamme möglich, bei der die Aktivierungswärme aus Messungen der Induktionszeit bei tieferen Temperaturen zu 62000 cal bestimmt ist. Setzt man plausible Werte für λ und c_p ein, so erhält man für v_0 einen Wert von 15 cm/sec, während ein Wert von 45 cm/sec gemessen worden ist. Die Übereinstimmung ist so gut, wie man bei den Vereinfachungen, die in der Rechnung noch stecken, erwarten darf.

Unsicherheiten in λ und c_p dürften das Resultat nicht nennenswert beeinflussen. γ wurde in der Rechnung so bestimmt, daß es bei $T = 0{,}95\ T_e$ mit $\frac{e^{-A/RT}}{T^2}$ übereinstimmt. Auch hier dürfte keine nennenswerte Unsicherheit in der Rechnung stecken. Es gibt aber zwei Ursachen, die das Resultat zu klein machen können. Die eine liegt darin, daß wir für die Reaktionsgeschwindigkeit einen bimolekularen Ansatz gewählt haben. Ich habe schon erwähnt, daß ein bimolekularer Ansatz wohl den langsamsten Mechanismus liefert, nach dem die Moleküle in der Flamme abreagieren. Es sprechen viele Gründe für die Annahme, daß der tatsächliche Mechanismus bei der Methanverbrennung über O-Atome verläuft. Dieser Mechanismus liefert für die Reaktionsgeschwindigkeit die Ordnung 1½ für CH_4, die ein schnelleres Abreagieren der CH_4-Molekeln liefert als die zweite Ordnung. Nach den früheren Ableitungen ist aber klar, daß ein schnellerer chemischer Umsatz auch eine schnellere Flammengeschwindigkeit ergibt. Schließlich kann man sich überlegen, daß die Temperaturgradienten am Zündpunkt bei etwas höherer Strömungsgeschwindigkeit gleich sind, wenn die Reaktion nicht sprunghaft am Zündpunkt einsetzt, sondern auch schon etwas unterhalb der Temperatur, von der ab wir mit dem vollen Wert gerechnet haben, einsetzt. Unsere Rechnung muß also auch aus diesem Grunde einen zu kleinen Wert für die Flammengeschwindigkeit ergeben.

Wir haben damit zum ersten Male auf dem Boden der Wärmetheorie eine Formel abgeleitet, die absolut auswertbar ist.

Wir sehen in diesem Ergebnis einen sicheren Beweis dafür, daß die Vorgänge in der Flamme durch

die Wärmetheorie qualitativ und quantitativ richtig beschrieben werden. Unsere Ableitungen können sicher noch in Einzelheiten verbessert werden. Solche an sich wünschenswerte Verbesserungen können aber das Grundergebnis nicht beeinflussen. Eine stationäre Flamme kommt nach der Wärmetheorie so zustande, daß aus dem Reaktionsbereich Wärme durch Wärmeleitung auf das anströmende Frischgas übertragen wird. Dadurch wird das Frischgas so weit erhitzt, daß rein thermisch Zündung eintritt. Die Temperatur, bei der diese Zündung eintritt, liegt so nahe wie möglich an der Flammenendtemperatur, da sich als stationäre Geschwindigkeit diejenige einstellt, bei der die Vorgänge der Aufheizung und chemischen Reaktion in der kürzesten Gesamtzeit ablaufen.

V. Radikalflammen.

Auf einen Punkt muß ich allerdings hinweisen. Der geschilderte Wärmemechanismus für die Flammenfortpflanzung kann nicht der einzig mögliche sein. Wohl werden die meisten mit Luft brennenden Flammen mit guter Annäherung Wärmeflammen sein. Daneben gibt es aber Flammen, die sicher nach einem anderen Mechanismus brennen. Wenn bei sehr heißen Flammen das Rauchgas beträchtlich dissoziiert ist, kann die Energieübertragung durch Wärmeleitfähigkeit nur eine sehr untergeordnete Rolle spielen. Ein sehr beträchtlicher Anteil der Energie des Rauchgases besteht aus Dissoziationsenergie, die gar nicht durch Wärmeleitfähigkeit übertragen werden kann.

Wenn ich zum Schluß die Verhältnisse in diesen sehr heißen Flammen noch etwas näher beleuchten will, so greife ich auf Fig. 8 zurück, in der das experimentelle Material für diese heißen Flammen gesammelt ist (12).

Aus dieser Figur kann man folgende Schlüsse ziehen:

1. Die Flammengeschwindigkeit hängt bei Flammen, bei denen das Rauchgas merklich dissoziiert ist, entscheidend von der Gleichgewichtskonzentration der H-Atome im Rauchgas ab. Das kann nur so erklärt werden, daß die H-Atome entgegen der Gasströmung in das Frischgas diffundieren und dort die chemische Reaktion in Gang setzen bzw. beschleunigen. Der Einfluß der H-Atome ist von anderer Größenordnung als der Einfluß der Temperatur, da die gefundenen Flammengeschwindigkeiten 10- bis 20mal größer sind als bei den „Wärmeflammen". Der quantitative Zusammenhang zwischen H-Atomkonzentration und Flammengeschwindigkeit wird durch ein Potenz von [H] wiedergegeben, deren Exponent etwas kleiner als 1 ist.

2. Aus dem Befund, daß die Werte für die Kohlenwasserstoff-Flammen auf der gleichen Kurve sowie der Wert für die Wasserstoff-Chlor-Flamme auf der Kurve für die Wasserstoff-Sauerstoff-Flammen liegen, folgt, daß die Wirkung der H-Atome nicht in dem individuellen Eingreifen in das chemische Geschehen zu suchen, sondern allgemeiner Natur ist.

3. Daß die Werte für die Kohlenwasserstoff-Flammen rund 50% tiefer liegen als die Werte für die Wasserstoff-Flammen, ist nicht durch Unterschiede im Diffusionskoeffizienten zu erklären. Das wird dadurch bewiesen, daß die Werte für die Azetylen-Flamme auf der Kurve der Wasserstoff-Flammen liegen. Bei den Kohlenwasserstoff-Flammen muß vielmehr eine Bremse für die H-Atome existieren. Es liegt nahe, an Reaktionen des Typus $H + CH_4 = H_2 + CH_3$ zu denken, durch die die schnellen H-Atome durch langsamere Alkylradikale ersetzt werden.

4. Daß die Werte für die Azetylen-Flamme auf der Kurve für die Wasserstoff-Flamme liegen, zeigt, daß beim Azetylen diese Bremse nicht besteht. Das Radikal $C \equiv C - H$ wird sich also nicht bilden oder in C_2 und H zerfallen, wodurch die Konzentration der H-Atome beim Stoß von H gegen C_2H_2 erhalten bleibt.

Im Gegensatz zu den Wärmeflammen wird also bei den Radikalflammen der stationäre Zustand nicht durch einen Wärmetransport, sondern durch einen Stofftransport aufrechterhalten. Mit diesem Stofftransport ist aber gleichzeitig ein Energietransport verbunden, da die H-Atome nach ihrer Diffusion ins Frischgas dort bei ihrer Rekombination die ganze Dissoziationsenergie auf das Frischgas übertragen. Da nach Fig. 8 die Wirkung der H-Atome sehr universaler Natur ist, vermuten wir, daß dieser mit dem Stofftransport verbundene Energietransport für den Einfluß der H-Atome auf die Flammengeschwindigkeit wesentlich ist. Eine rohe Überschlagsrechnung zeigt, daß die durch diesen Energietransport bewirkte Erhöhung der Wärmeleitung ausreicht, um den größenordnungsmäßigen Unterschied in der Geschwindigkeit der Radikalflammen gegenüber den Wärmeflammen erklären zu können.

Vor kurzem ist von amerikanischer Seite der in Fig. 8 dargelegte Zusammenhang zwischen H-Atomkonzentration im Rauchgas und Flammengeschwindigkeit an Hand der $CO-O_2$ und H_2-O_2-Flamme ebenfalls aufgezeigt worden (13). Unter Zuhilfenahme vereinfachender, aber plausibler Annahmen gelang es diesen Autoren, die H-Atom-Konzentration im ganzen Flammenbereich auszurechnen. Sie setzen nun den chemischen Umsatz proportional der in jedem Volumelement vorhandenen H-Atomkonzentration. Sie suchen also die Wirksamkeit in der chemischen Aktivität der H-Atome, im Gegensatz zu unserer Hypothese, bei der der chemische Umsatz von den im Volumelement verschwindenden H-Atomen abhängen sollte. Mit ihrem Ansatz gelangen die genannten Autoren zu einem Ausdruck für die Flammengeschwindigkeit, bei dem $w_f \sim \sqrt{H}$ ist. Das experimentelle Material zeigt nun, daß w_f sicher stärker als $\sim \sqrt{H}$ ansteigt. Da die Rechnung doch starke Vereinfachungen enthält, halten wir es für verfrüht, jetzt schon eine Entscheidung zwischen den beiden Hypothesen zu treffen.

Tab. 5. *w_f in Abhängigkeit von der Temperatur bzw. H-Atom-Konzentration.*

	H_2-O_2			H_2-Cl_2			$C_2H_2-O_2$		$C_2H_4-O_2$	
L	1	0,75	0,6	1	0,68	0,55	1	0,95	1	0,85
$w_f\left(\frac{cm}{sec}\right)$	1115	1175	1120	350	405	360	385	390	530	550
T (°K)	3089	3048	2905	2500	2402	2260	3107	3111	3180	3188
H (%)	8,1	9,3	7,5	0,49	0,73	0,38	5,5	6,0	6,5	9,6

Unabhängig von der Entscheidung über diese gewiß sehr interessante und für die Klärung des Mechanismus der Radikalflammen sehr wesentliche Frage läßt der in Fig. 8 gezeigte Zusammenhang zwischen H-Atomkonzentration und Flammengeschwindigkeit die Klärung eines Problems zu, das zwar schon lange diskutiert worden ist, aber bis jetzt noch keine Lösung gefunden hat.

Es ist bekannt, daß alle Flammen ihr Maximum der Flammengeschwindigkeit nicht bei der stöchiometrischen Zusammensetzung, sondern bei mehr oder weniger großem Brennstoffüberschuß haben. Bei lang-

sam brennenden Flammen ist diese Erscheinung nur sehr wenig ausgeprägt. Gerade aber bei den Radikalflammen liegt das Maximum der Flammengeschwindigkeit weitab von der stöchiometrischen Zusammensetzung. Der aufgedeckte Einfluß der H-Atomkonzentration erklärt diese Erscheinung zwanglos. In Tabelle 5 sind für einige Flammen die Werte von w_f, T und (H) für verschiedene Werte der Sauerstoffzahl L aufgetragen. Wenn L sinkt, so steigt mit wachsendem Brennstoffüberschuß die H-Atomkonzentration so lange, bis durch Absinken der Flammentemperatur auch die Dissoziation wieder zurückgeht. Die Tabelle zeigt, daß am Maximum der Flammengeschwindigkeit auch die H-Atom-Konzentration ihr Maximum hat.

VI. Schluß.

Wir haben somit für jeden der beiden Grenzfälle die Größen ermittelt, welche jeweils für die Flammengeschwindigkeit maßgebend sind. Für die Wärmeflammen ist dies die Wärmeleitung vom Rauchgas auf das Frischgas, bei den Radikalflammen die Diffusion der im Rauchgas stationär vorhandenen H-Atome in das Frischgas. Für die quantitative Behandlung haben wir auf Grund der von uns eingeführten und physikalisch wohl fundierten These, daß bei den Wärmeflammen die chemischen Vorgänge sich erst in der nächsten Nachbarschaft der Endtemperatur abspielen, eine Vereinfachung der mathematischen Operationen erzielt, die eine Absolutberechnung der Flammengeschwindigkeit ermöglicht. Für die Radikalflammen ist die Theorie noch nicht so weit durchgeführt. Der von uns aufgezeigte Zusammenhang zwischen H-Atomkonzentration und Flammengeschwindigkeit eröffnet aber auch für diese Flammen die Möglichkeit für eine vollständige theoretische Behandlung.

Diese Theorie ist für einen Chemiker kein Selbstzweck. Unser Ziel ist ja, in den Flammen chemische Reaktionen durchzuführen. An sich bieten hierfür die stationären Flammen ideale Vorbedingungen. Zunächst kann man in ihnen wie nirgendwo sonst homogene Prozesse bei hohen Temperaturen durchführen, da Wandeinflüsse praktisch ganz auszuschließen sind. Außerdem hat man es mit sehr definierten Temperaturverhältnissen und Verweilzeiten zu tun. Wenn man aber die Messungen an Flammen für reaktionskinetische Zwecke auswerten will, so muß man als Unterbau die Theorie der Flammengeschwindigkeit besitzen. Erst wenn man weiß, wie der Mechanismus der Flammenfortpflanzung verläuft und in welcher Form die chemische Reaktionsgeschwindigkeit in diesen Mechanismus eingreift, kann man aus Messungen der Flammengeschwindigkeit zu Aussagen über reaktionskinetische Fragen gelangen.

Zum Schluß möchte ich darauf hinweisen, daß die geschilderten Ergebnisse natürlich nicht allein aus der Arbeit eines einzelnen gewonnen wurden. Zunächst möchte ich Herrn Dr. Sachsse danken, der die eingangs erwähnten Verfahren gefunden bzw. zur technischen Reife entwickelt hat. Die Beobachtungen an den Flammen in technischem Maßstab haben uns auf die Probleme der Flammengeschwindigkeit geführt. Mit Dr. Sachsse konnte ich auch den ganzen Fragenkreis eingehend diskutieren. Auf Herrn Prof. Hermann, Marburg, ist die mathematische Durchführung der Wärmetheorie zurückzuführen. Herr Dr. Lehrer hat mir bei der Entwicklung der neuen Meßmethode durch die Diskussion der hydrodynamischen Grundlagen geholfen. Herr Dr. Hennesthal hat die Messungen zur Orientierung über das Gebiet ausgeführt, und Herr Dr. Kienitz hat mich bei der sehr mühseligen und umfangreichen Arbeit der Berechnung der Flammentemperaturen und Rauchgaszusammensetzung unterstützt. Ihnen allen möchte ich herzlich danken.

Eingegangen am 3. Januar 1949.

Literatur.

(6) Mallard, E. und Le Chatelier, H., Ann. Min. **4**, 274 (1883). — (7) Eucken, A., Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik, 11. Aufl., **III**, 859. — (8) Coward, H. F. und Payman, W., Chem. Rev. **29**, 359 (1937). — (9) Mache, H., Physik der Verbrennungserscheinungen, Leipzig (1918). — (10) Sachsse, H., Z. phys. Chem. (B) **33**, 229 (1936). — (11) Lewis, B. und v. Elbe, G., Journ. Chem. Phys. **11**, 75 (1943). - v. Elbe, G. und Mentzer, M., Journ. Chem. Phys. **13**, 89 (1945). — (12) Bartholomé, E., Die Flammengeschwindigkeit in sehr heißen Flammen. Z. f. Elektrochem. (im Druck). — (13) Tanford, Ch. und Pease, R. N., Journ. Chem. Phys. **15**, 431 (1947). Tanford, Ch., Journ. Chem. Phys. **15**, 433 (1947). - Tanford, Ch. und Pease, R. N., Journ. Chem. Phys. **15**, 861 (1947).

Berichte.

Turmteleskope.

Von H. Gollnow, Göttingen.

(Fortsetzung und Schluß.)

Das Sonnenteleskop der Universitäts-Sternwarte in Oxford[22]) ist ein weiteres Beispiel dafür, daß sich unter Umständen auch mit verhältnismäßig einfachen Mitteln ein hochwertiges Instrument schaffen läßt. Das Teleskop wurde in den Ostturm des Sternwartengebäudes nachträglich eingebaut. Das darin befindliche alte Spiegelteleskop wurde entfernt, die Decken der unter der Kuppel befindlichen Räume durchbrochen. In dem so gewonnenen Schacht wurde ein massiver Pfeiler aus Mauersteinen errichtet (Höhe 6,4 m, Breite 1,8 × 1,8 m am Sockel und 1,2 × 1,2 m an der Spitze). Dieser Pfeiler trägt den Coelostaten. Beide Spiegel haben einen Durchmesser von 40 cm und eine Dicke von 7 cm und sind aus geschmolzenem Quarz („silica") hergestellt. Die mit dem Oxforder Turmteleskop geplanten Arbeiten verlangten bei einer Turmhöhe von nur etwa 7 m ein Sonnenbild von etwa 20 cm Durchmesser, d. h. eine Fernrohrbrennweite von rund 20 m, ferner völlige Achromasie. Alle diese Forderungen werden nur von einem Spiegelteleskop Cassegrainscher Bauart erfüllt. So fällt das Sonnenlicht vom Hilfsspiegel senkrecht nach unten auf den am Sockel des Pfeilers befestigten konkaven Parabolspiegel von 31,8 cm Durchmesser und 9,1 m Brennweite. Er reflektiert die Lichtstrahlen wieder nach oben und vereinigt sie auf dem konvexen Hyperbolspiegel (Cassegrain-Spiegel) von 14,6 cm Durchmesser und 1,8 cm Dicke, der die Brennweite des Parabolspiegels auf 19,8 m verlängert. Vom Cassegrain-Spiegel werden die Strahlen erneut nach unten reflektiert, treffen etwas oberhalb des Parabolspiegels auf einen um 45° geneigten Planspiegel (Coudé-Spiegel) von 14 cm Durchmesser und 1,8 cm Dicke, der den Lichtstrahl um einen Winkel von 90° zum Spektrographen umlenkt. Alle Spiegel bestehen aus geschmolzenem Quarz („silica"), da sich dieses Material wegen seines geringen Ausdehnungs-Koeffizienten (Kronglas: Pyrexglas: geschmolzenem Quarz = 21 : 7 : 1) durch vernachlässigbar kleine Änderungen von Fokus und Astigmatismus auszeichnet. Diese Bauart eines Cassegrain-Teleskopes bringt zwar bei Untersuchungen der

Sonne den Nachteil mit sich, nicht das gesamte Sonnenbild von 18,4 cm Durchmesser gleichzeitig beobachten oder photographieren zu können, da man sonst Cassegrain- und Coudé-Spiegel, die sich ja inmitten des Strahlenganges befinden, zu groß machen müßte, sondern nur einen Ausschnitt von etwa 5 cm Durchmesser. Dieser Nachteil fällt jedoch für die mit dem Oxforder Turmteleskop geplanten Untersuchungen nicht ins Gewicht und man erspart sich das schwierige und kostspielige Schleifen der komplizierten Spiegeloberflächen des Haleschen „schiefen Cassegrain" (s. o.). Über den Oxforder Spektrographen vgl. Tab. 1.

Zur Einrichtung des Astrophysikalischen Observatoriums des California Institute of Technology in Pasadena gehört auch ein Turmteleskop, über welches Hale 1935 berichtet[23]). Wie schon beim Haleschen Solar-Observatory befindet sich der eigentliche Turm freistehend im Innern eines massiven Gebäudes (Fig. 8). Der massive, aus Stahl und Beton errichtete Turm von achteckigem Querschnitt trägt in etwa 12 m Höhe über

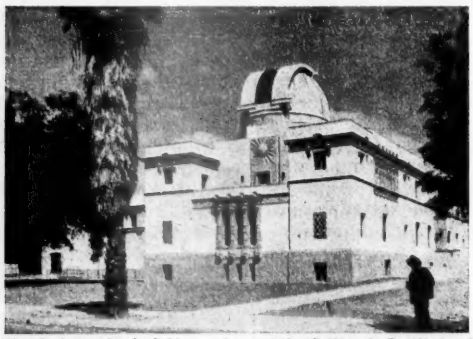


Fig. 8. Astrophysical Observatory of the California Institute of Technology. (Ap. J. 82, 128 [1935], Plate X, Fig. 1.)

dem Erdboden den Coelostaten, der durch eine Kuppel von 7 m Durchmesser geschützt ist. Der Turm erstreckt sich bis zu einer Tiefe von 8,5 m unter den Erdboden und ruht dort auf den, keinen Kontakt mit dem Gebäude aufweisenden, massiven Eisenbetonwänden des Spektrographenraumes, der bei einem Querschnitt von rund 4 × 9 m noch weitere 18,3 m in die Erde hinabreicht. Vom Coelostaten (Spiegeldurchmesser 91,4 cm und 76,2 cm) fällt der Lichtstrahl auf einen Konkavspiegel (Durchmesser 66 cm), 14,3 m unterhalb des Hilfsspiegels. Von hier wird das Licht wieder nach oben auf einen von den drei kleineren konvexen Cassegrain-Spiegeln aus geschmolzenem Quarz („silica") geworfen und wird von ihm wieder nach unten auf den Spektrographenspalt reflektiert. Die Bauart ist die des von Hale in seinem Solar-Laboratory verwendeten „schiefen Cassegrain". Die drei Konvexspiegel liefern Sonnenbilder von 55,9, 35,5 und 17,8 cm Durchmesser. Durch zusätzliche optische Einrichtungen lassen sich noch kleinere Sonnenbilder erzeugen. Letztere dienen besonders zur visuellen Beobachtung mit einem Spektrohelioskop und zu photographischen Aufnahmen mit einem Spektroheliographen. Über die sonstige spektroskopische Ausrüstung vgl. Tab. 1. Es versteht sich, daß dieses Observatorium mit einer Fülle physikalischer Apparate ausgerüstet ist, so unter anderem mit einem großen Magneten für die Untersuchung von Zeeman-Effekten, mit einem elektrischen Ofen nach King und verschiedenen anderen spektroskopischen Lichtquellen.

Kurze Zeit später (1935/36) wurde das 15 m-Turmteleskop des McMath-Hulbert-Observatoriums der Universität von Michigan am Lake Angelus errichtet[24]). Es sollte bevorzugt zum Studium der Bewegungsvorgänge in Protuberanzen dienen, der Spektroheliograph ist deshalb mit einer Spezial-Kinokamera (Bell und Howell) ausgerüstet. Aussehen und Bauweise dieses Sonnenturmes zeigt Fig. 9, die unter anderem auch sehr gut erkennen läßt, wie der ganze Spektrograph um seine optische Achse um volle 360° gedreht werden kann. Der äußere Turm von 5 m Durchmesser besteht aus vernieteten 6 mm starken Stahlplatten, der innere Turm von 1,8 m Durchmesser aus ebenfalls 6 mm starken, miteinander verschweißten Stahlplatten. Diese Bauweise verbürgt größtmögliche Starrheit und vollkommenen Schutz gegen störende Windeinflüsse,

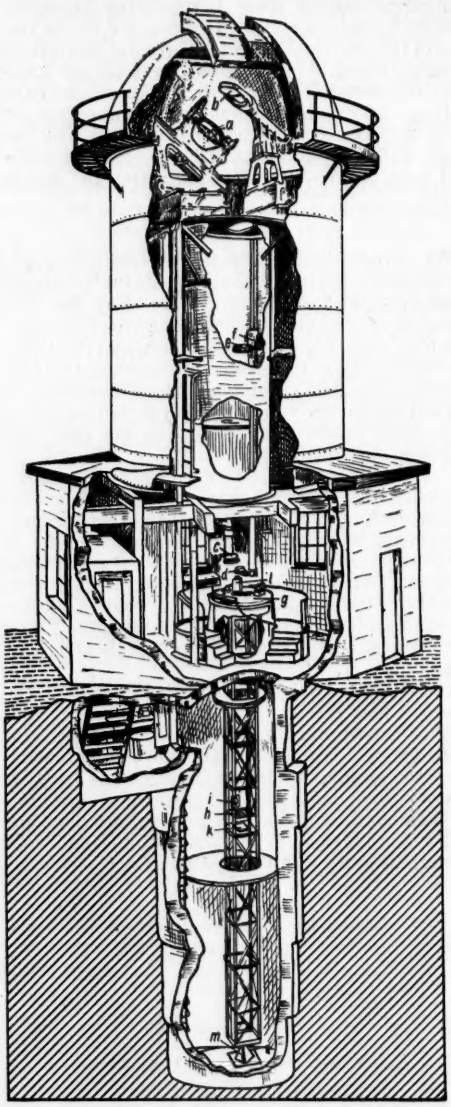


Fig. 9. 15 m-Sonnenturm des McMath-Hulbert-Observatory. (Schematisierte Zeichnung nach Publ. Obs. Univ. Michigan VII, 1 [1937], Titelbild). a) Hauptspiegel. b) Hilfsspiegel. c, d) Wahlweise verwendbare Konkavspiegel. e) Planspiegel, gegen die Linse f auswechselbar, wenn diese statt der Spiegel c, d verwendet wird. f) Linse. g) Kopf des Spektroheliographen mit der Spezial-Kinokamera l. h, i) Objektive. k) Gitter. l) Spezial-Kinokamera. m) Lager zur Drehung des gesamten Spektrographen.

ferner wird hierdurch und durch eine zusätzliche Ventilationseinrichtung eine möglichst gleichmäßige Temperatur und horizontale Schichtung der Luft im Innern des Turmes erreicht. Die besonderen Aufgaben dieses Turmteleskopes, nämlich die kinematographische Registrierung von Protuberanzen unter Umständen von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang, machten eine Reihe von technischen Besonderheiten erforderlich. So erfolgt die Nachführung des Hauptspiegels mit größter Präzision, die Geschwindigkeit seiner Drehung läßt sich der Sonnenbewegung ge-

nauestens anpassen und z. B. während des Untergehens der Sonne entsprechend verlangsamen, wobei dann die Nachführung in der letzten Untergangsphase, während der die Bewegung infolge von Refraktionsstörungen nicht kontinuierlich verläuft, von Hand erfolgt. Da die Sonne bereits innerhalb eines Tages eine merkliche Änderung der Deklination aufweist, besitzt der Hilfsspiegel eine automatische Deklinationsbewegung mittels eines „Selsyn". Wie schon beim Hilfsspiegel des Turmteleskopes des California Institute of Technology (s. Fig. 11) ist auch hier der Spiegel in einer Gabel aufgehängt, die um eine nach dem Pol gerichtete Achse drehbar ist. Er läßt sich ferner in dieser Gabel um eine horizontale Achse neigen. Die automatisch erfolgende Neigung stellt die genannte Nachführung in Deklination dar; in der nicht kontinuierlichen Phase des Unterganges der Sonne erfolgt auch sie von Hand. Für eine solche automatische Deklinationsbewegung lagen bereits Erfahrungen mit dem 10,5 inch-Reflektor des McMath-Hulbert-Observatory vor. Diese beiden Instrumente sind die ersten, die eine dem jeweilig untersuchten Himmelskörper (Sonne, Mond, Planeten, Kometen, Sterne) anpaßbare automatische Nachführung auch in Deklination besitzen[24a]), für das Turmteleskop kommt als Untersuchungsobjekt natürlich nur die Sonne in Betracht. Später wurden auch das McDonald-Teleskop in Texas und das Hale-Teleskop (5 m-Spiegel) auf dem Mt. Palomar mit einer solchen automatischen Nachführung in Deklination ausgestattet. Auch für die automatisch arbeitende Kinokamera, bei der sich sowohl die Belichtungszeiten wie die Zwischenräume zwischen zwei Belichtungen innerhalb der erforderlichen Grenzen beliebig einstellen lassen, lagen bereits Erfahrungen von früheren Arbeiten mit dem 10,5 inch-Reflektor vor[24b]). Hierfür, wie für die automatische Deklinationsbewegung, waren schon von den Arbeiten mit dem 10,5 inch-Reflektor eine Reihe spezieller Antriebsmechanismen und Kontrollapparate in einem besonderen unterirdischen Kontrollraum vorhanden, an welche nun auch die Instrumente des Turmteleskopes angeschlossen wurden. Der Sonnenturm ist mit einem Linsenfernrohr und zwei Spiegelfernrohren ausgestattet, die wahlweise benutzt werden können. Hierzu läßt sich der Hilfsspiegel, falls erforderlich natürlich auch der Hauptspiegel, auf seinen Schienen seitlich verschieben (vgl. als Beispiel Fig. 11). In der Mittelstellung befindet sich der Hilfsspiegel senkrecht über der Linse und zugleich dem Spektrographenspalt, in den beiden Seitenstellungen über einem der beiden Konkavspiegel. Von diesen geht nun das Licht wie beim „schiefen Cassegrain" wieder schräg nach oben und trifft auf einen jetzt an der Stelle der Linse befindlichen Planspiegel, von dem es senkrecht nach unten auf den Spektrographenspalt reflektiert wird. Dieser Planspiegel sollte später durch einen Konvexspiegel ersetzt werden, dann würde ein wirklicher „schiefer Cassegrain" vorliegen. Unterhalb des Spektrographenspaltes führt der Spektrographenraum 9,5 m tief senkrecht in die Erde hinein. Der Spektroheliograph arbeitet mit oszillierenden Spalten (s. u.). Gewöhnlich befinden sich diese an jeder Seite eines um einen Zapfen hin und her schwingenden Armes in gleichen Abständen vom Drehpunkt, jeder Punkt des Spaltes beschreibt also einen Kreisbogen. Die oszillierenden Spalte des Spektroheliographen des McMath-Hulbert-Observatory bewegen sich dagegen auf genau parallelen Geraden, wobei ihre Bewegung gegensinnig zueinander verläuft. Darüber hinaus enthält die angeführte Beschreibung dieses Turmteleskopes[24]) noch eine Fülle technischer Einzelheiten und Besonderheiten, auf die hier jedoch nicht weiter eingegangen werden kann. Über die sonstige optische Ausrüstung dieses in technischer Hinsicht wohl modernsten Turmteleskopes vgl. Tab. 1.

Vier Jahre nach der Errichtung des ersten Turmteleskopes des McMath-Hulbert-Observatory wurde ein weiteres ähnlich gebautes Turmteleskop von 21,5 m Höhe in Betrieb genommen[25]). Bei ihm wird jedoch im Gegensatz zum 15 m-Turm das Sonnenlicht wie beim Einstein-Turm seitlich herausgeleitet und wahlweise einem der beiden, in dem anschließenden Gebäude befindlichen Laboratoriumsräumen zugeführt. Weitere Einzelheiten sind der angegebenen Literatur nicht zu entnehmen.

In Deutschland besitzen außer dem Astrophysikalischen Observatorium in Potsdam das Fraunhofer-Institut in Freiburg/Breisgau und die Universitäts-Sternwarte Göttingen Turmteleskope. Die Sonnentürme des Fraunhofer-Institutes befinden sich auf den beiden Sonnenobservatorien Wendelstein (Brannenburg/Oberbayern) und Schauinsland (Freiburg)[26]). Der Turm auf dem Wendelstein hat bis zum Kuppelhorizont eine Höhe von 4 m. Der Innenturm, eine offene Stahlkonstruktion von 1,5 × 1,5 m Grundriß, wird durch einen geschlossenen Außenturm aus Holz geschützt. Der Strahlengang verläuft vertikal, die Baulänge ist durch Verwendung eines Spiegelteleskopes unter Rückspiegelung außerhalb der optischen Achse verkürzt; die Bauweise entspricht also der des „schiefen Cassegrain", nur, daß der zweite Spiegel, der den Lichtstrahl wieder nach unten reflektiert, kein Konvex-, sondern wie beim 15 m-Turm des McMath-Hulbert-Observatory ein einfacher Planspiegel ist. Der Spektrograph ist in einem geschlossenen Kasten eingebaut und hängend montiert; dieser Kasten hängt in einen offenen Erdschacht hinein. Die Höhe der beiden Türme auf dem Schauinsland beträgt bis zum Kuppelhorizont 7,5 bzw. 10,5 m. Eine geschlossene Holzkonstruktion mit Schindelverkleidung umgibt den eigentlichen inneren Turm, der in offener Holzkonstruktion (Grundriß 1,4 × 1,4 bzw. 1,85 × 1,85 m) ausgeführt ist. Bei beiden Instrumenten (Linsenfernrohre) wird der Strahlengang vor dem Hauptobjektiv mittels eines Hilfsspiegels um 90° in die Horizontale umgelenkt. Von den Spektrographenräumen (8,2 bzw. 9,5 m lang und 2,6 bzw. 2,0 m breit) liegt der eine über der Erde, der andere zum Teil unter der Erde. Die Konstruktion der Coelostaten ist in allen drei Türmen die gleiche wie beim Einstein-Turm, nur erfolgt bei Azimutdrehung (Schwenkbereich ± 85°) die Parallelstellung der Stundenachse des Hauptspiegels zur Weltachse automatisch durch ein Zahnradgetriebe. Die optische Ausrüstung ist in der Tab. 1 aufgeführt.

Der Göttinger Sonnenturm[27]) hat mit dem Einstein-Turm manches gemeinsam, so die Verwendung eines jede Schwingung schnell und gut dämpfenden, offenen Holzgerüstes im Innern eines massiven Steingebäudes und den horizontal liegenden Spektrographenraum. Dieser befindet sich aber nicht mehr unter dem Erdboden, was den Nachteil einer für die Instrumente nicht sehr günstigen, weil stets etwas dumpfigen Luft mit sich bringt, sondern in dem gut belüfteten und völlig trockenen ersten Stockwerk des Gebäudes. Verwendung besonders gut thermisch isolierender Baumaterialien, das Vorhandensein einer ausreichenden isolierenden Luftschicht und eine Klimaanlage sorgen für die Temperaturkonstanz dieses Spektrographenraumes (Länge 9,85 m, Breite 1,78 m, Höhe 1,93 m). Das Turmteleskop und alle Teile des Spektrographen stehen auf besonderen Fundamenten, die zur Erzielung völliger Erschütterungsfreiheit keinerlei Berührungspunkte mit dem Gebäude aufweisen. Das Holzgerüst aus einem viele Jahre besonders gelagerten und völlig ausgetrockneten Material hat eine Höhe von 9 m, die Mitte des Hauptspiegels befindet sich 11 m über dem Erdboden. Der Querschnitt des Holzturmes hat die Form eines gleichseitigen Dreiecks von 2,1 m Seitenlänge. Um die Forderung nach völliger Achromasie zu erfüllen — für Aufnahmen des Sonnenrandes ist es, um einen Fall herauszugreifen, äußerst wichtig, die Gewähr dafür zu haben, daß die Bildschärfe bei beispielsweise 4000 Å mit der im sichtbaren Gebiet eingestellten Bildschärfe übereinstimmt —, wurde ein Spiegelteleskop ähnlich der Oxforder Bauart gewählt, doch wurden in Göttingen die Durchmesser des Cassegrain- und des Coudé-Spiegels im Verhältnis zum Parabolspiegel noch kleiner gehalten. Der Durchmesser des Gesichtsfeldes beträgt 5 Bogenminuten, das ist etwa $^1/_6$ des Durchmessers des Sonnenbildes. An dem Coelostaten (Fig. 10), der wie das ganze Instrument von der Firma Zeiß, Jena, hergestellt wurde, ist noch hervorzuheben, daß auch hier beim Herausschwenken des Hauptspiegels aus dem Meridian die Stundenachse auto-

matisch parallel zur Weltachse bleibt, aber nicht mittels eines Zahnradgetriebes wie bei den Instrumenten des Fraunhofer-Institutes, sondern durch eine Stahlbandübertragung (auf der Figur dicht über dem Fußboden zu erkennen). Die optische Ausrüstung des Göttinger Turmteleskopes findet sich in Tab. 1 zusammengestellt; geplant sind noch die Anbringung eines Monochromators vor dem Spektrographenspalt und eine spektrohelioskopische Zusatzeinrichtung. Zu erwähnen ist noch, daß sich eine zur Verringerung der Fokusänderung und der Beeinträchtigung der Bildgüte infolge der starken Erwärmung am Cassegrain-Spiegel angebrachte Wasserkühlung gut bewährt.

Wegen der völligen Verschiedenheit der „deutschen" Bauweise eines Coelostaten gegenüber der „amerikanischen" Bauweise sei als Beispiel noch die Abbildung des Coelostaten des Astrophysical Observatory of the California Institute gegeben (Fig. 11). Man sieht deutlich, wie hier Haupt- und Hilfsspiegel auf Schienen seitlich verschiebbar sind. Die seitliche Verschiebung des Hilfsspiegels ist nur notwendig bei Verwendung mehrerer Fernrohre, z. B. Linsenfernrohr und „schiefer Cassegrain". Der Hauptspiegel läßt sich, abgesehen von der selbstverständlichen Drehung um die Stundenachse, zum Ausgleich der Deklinationsänderung während des Jahres längs einer der Stunden- und damit der Erdachse parallelen Schiene verschieben.

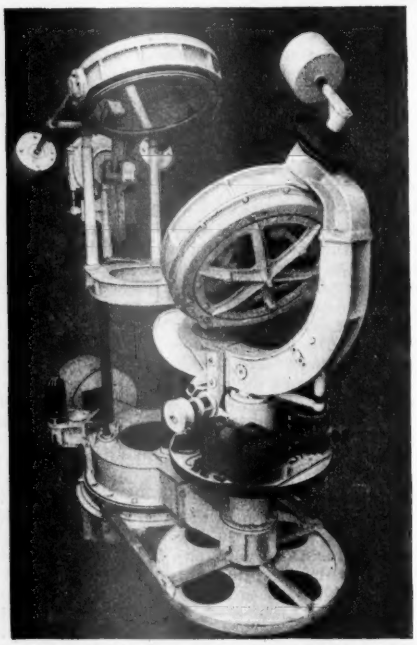


Fig. 10. Coelostat des Göttinger Turmteleskops (eigene Photographie).

Der Hilfsspiegel ist um zwei im Bild gut erkennbare aufeinander senkrecht stehende Achsen drehbar, von denen die eine bei dieser Konstruktion auf den Pol gerichtet ist. Demgegenüber sind die notwendigen Bewegungen bei der „deutschen" Konstruktion: Heben bzw. Senken des Hilfsspiegels und Neigen um eine waagerechte Achse, Herausschwenken des Hauptspiegels unter gleichzeitigem Mitdrehen des Hilfsspiegels aus dem Meridian. Es ist wohl überflüssig zu sagen, daß bei allen Coelostaten die Nachführung des Hauptspiegels (halbe Winkelgeschwindigkeit der Erddrehung) durch Elektromotore erfolgt und daß die Gleichmäßigkeit dieser Nachführung durch Hilfsvorrichtungen, z. B. Steuerung der Umlaufgeschwindigkeit mittels einer astronomischen Pendeluhr[14]),[27]), gewährleistet ist. Ferner besitzen die meisten Coelostaten eine elektrische Fernbedienung, d. h. alle erforderlichen Bewegungen und Einstellungen des Coelostaten lassen sich außer am Coelostaten selbst auch von dem beim Spektrographenspalt befindlichen Standpunkt des Beobachters aus vornehmen. In entsprechender Weise läßt sich auch der Spektrograph von der Spalt- und Kassettenwand aus einstellen, um eine unnötige Beeinträchtigung der Temperaturkonstanz des Spektrographenraumes durch dessen Betreten zu vermeiden.

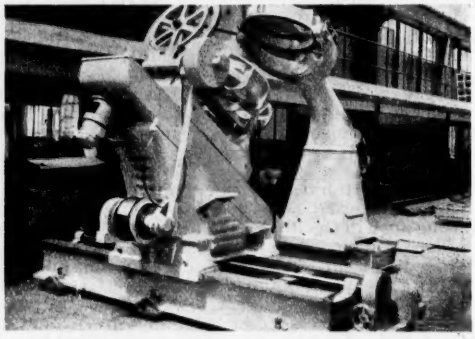


Fig. 11. Coelostat des Astrophys. Obs. of the California Institute. (Ap. J. **82**, 128 [1935] Plate X, Fig. 2.)

Ein Wort schließlich noch zur Art der Belegung der in den Turmteleskopen verwendeten Spiegel, die ja alle eine Oberflächenverspiegelung aufweisen. Während man ursprünglich nur das Verfahren der chemischen Versilberung kannte, das zum Teil auch heute noch verwendet wird, setzte sich seit etwa 1930 immer mehr das Bedampfen mit Aluminium im Hochvakuum durch. Die Aluminiumspiegel haben gegenüber Silberspiegeln vor allem den Vorteil, haltbarer zu sein; so muß ein Silberspiegel ein- bis zweimal im Jahr erneuert werden, während ein Aluminiumspiegel einige Jahre halten kann. Das etwas geringere Reflexionsvermögen des Aluminiums im Roten wird dadurch aufgewogen, daß sich sein Reflexionsvermögen mit der Zeit nur relativ wenig ändert und im kurzwelligen Gebiet, besonders unterhalb von 4000 Å, dem Silber überlegen ist. Eine weitere Verbesserung stellt das im gleichen Bedampfungsprozeß stattfindende Aufdampfen einer äußerst dünnen Quarz-Schutzschicht auf die Aluminiumschicht dar, womit z. B. jetzt die Spiegel des Göttinger Turmteleskopes mit Ausnahme der Coelostatenspiegel*) versehen wurden. Die Haltbarkeit derartiger Belegungen wird von den Herstellern auf 5 bis 10 Jahre geschätzt, ferner sind Spiegel mit Quarz-Schutzschicht während dieser Zeit noch ungefährdeter durch vorsichtiges Abwischen zu reinigen, als dies bei den gewöhnlichen Aluminiumspiegeln schon der Fall war.

Im Rahmen dieses Berichtes war es nicht möglich, auf die mannigfaltigen technischen Einzelheiten der in Verbindung mit den geschilderten Turmteleskopen verwendeten Spektrographen, Spektroheliographen, Spektrohelioskope und der dazu gehörigen Hilfsapparate, wie Polarisationsvorrichtungen, Interferometer usw. einzugehen. Hierfür muß auf die angegebene und sonstige Literatur verwiesen werden, hinsichtlich der Spektrohelioskope besonders auf die zusammenfassende Darstellung von G. E. Hale[28]). Es sei hier nur auf die grundsätzlich verschiedenen Bewegungsarten der Spektroheliographen hingewiesen, da diese teilweise konstruktive Besonderheiten der betreffenden Turmteleskope erfordern. So werden folgende vier Möglichkeiten angewandt:

1. Bewegung des Sonnenbildes durch Bewegung des Fernrohrobjektives, synchrone Bewegung der photo-

*) Sobald die Apparatur für so große Spiegel bei den Mechanischen Werkstätten (Heräus), Onstmettingen/Wttbg., in Betrieb genommen sein wird, sollen auch diese Spiegel eine neue Aluminiumbelegung mit Quarz-Schutzschicht erhalten.

graphischen Platte, Spektrograph und Spektrographenspalte feststehend; z. B. Mt. Wilson 20 m-Turm, mit Ausnahme des 1,52 m-Spektroheliographen.

2. Sonnenbild und photographische Platte feststehend, Bewegung des ganzen Spektrographen einschließlich der Spalte; z. B. Utrecht, Arcetri, Wendelstein.

3. Sonnenbild, Spektrograph und photographische Platte feststehend, Bewegung der Spektrographenspalte; z. B. McMath-Hulbert 15 m-Turm.

4. Verwendung rotierender Anderson-Prismen, alles übrige feststehend; z. B. Zusatzeinrichtung des Einstein-Turmes.

Der vorstehende Bericht über die bis heute errichteten Turmteleskope mag erkennen lassen, welchen hohen instrumentellen Aufwand die moderne Sonnenphysik erfordert. Viele wertvolle Entdeckungen und Erkenntnisse sind mit Hilfe der Turmteleskope in aller Welt gewonnen worden und werden auch noch weiterhin gewonnen werden. Mit den sich steigernden Forderungen der Wissenschaft ging eine stetige Verbesserung und Vervollkommnung der technischen Ausrüstung dieser Institute einher. Und nichts dürfte die hohe Bedeutung der Turmteleskope für die Sonnenphysik und darüber hinaus für die Astrophysik wohl deutlicher erkennen lassen als die Tatsache, daß in den zurückliegenden rund 40 Jahren ein Sonnenturm nach dem andern errichtet wurde, und daß heute nach der Unterbrechung durch den Krieg weitere Turmteleskope, z. B. in Blindern bei Oslo (Institutt for Teoretisk Astrofysikk), in Dublin*) (Dunsink-Observatory) und, wie verlautet, auch in Rußland, geplant und teilweise schon im Bau sind.

Eingegangen am 4. März 1949.

*) *Anmerkung bei der Korrektur:* Herr Prof. Dr. H. A. Brück teilte mir liebenswürdigerweise folgende Angaben über sein Turmteleskop mit, das bis zum Herbst dieses Jahres fertiggestellt sein soll. Coelostat: Spiegeldurchmesser je 41 cm. Fernrohr: Spiegelteleskop nach Cassegrain, Durchmesser des Konkavspiegels 38 cm, effektive Brennweite (auswechselbare Konvexspiegel) 25 bzw. 45 m. Spektrograph: 7 m-Konkavgitter (Breite 15,2 cm) in Eagle-Aufstellung.

[23]) The New Solar Telescope at Oxford. Observatory **58**, 210 (1935); Plaskett, H. H., The Oxford Solar Telescope and Hartmann Tests of its Performance. Monthl. Not. **99**, 219 (1939); Comm. Univ. Obs. Oxford Nr. 14; —, Engineering, March 24, 1939; May 10, 1939 (stand leider nicht zur Verfügung); Evans, D. S., Photometric Observations of H_α in the Solar Spectrum. Comm. Univ. Obs. Oxford Nr. 17; Monthly Not. **100**, 156 (1940); Adam, M. G., Variation of Faint Fraunhofer-Lines across the Solar Disc. Comm. Univ. Obs. Oxford Nr. 18; Monthly Not. **100**, 595 (1940).

[33]) Hale, G. E., The Astrophysical Observatory of the California Institute of Technology. Ap. J. **82**, 111 (1935).

[34]) McMath, Robert R., The Tower Telescope of the McMath-Hulbert-Observatory. Publ. Obs. Univ. Michigan Vol. **VII**, Nr. 1 (1937); —, The New Solar Tower of the McMath-Hulbert-Observatory. Publ. Amer. Astr. Soc. **8**, 215 (1936).

[34a]) McMath, F. C., Hulbert, H. S. und McMath, R. R., Some New Methods in Astronomical Photography, with Application to Moving Pictures of Celestial Objects. Publ. Obs. Univ. Michigan, Vol. **IV**, 53 (1931); McMath, R. R. und Petrie, R. M., The Spectroheliokinematograph. Ebenda, Vol. **V**, 103 (1933); McMath, R. R. und Grieg, W. A., A New Method of Driving Equatorial Telescopes. Ebenda, Vol. **V**, 123 (1934).

[35]) Curtis, H. D., The New McGregor Building and 70-Foot Tower Telescope of the McMath-Hulbert-Observatory. Pop. Astr. **48**, 348 (1940); Dedication of the McGregor Building and Seventy-foot Tower Telescope, Lake Angelus, Michigan. Publ. Astr. Soc. Pac. **52**, 212 (1940).

[36]) Für die Mitteilung der gewünschten Daten danke ich den Herren Dr. K. O. Kiepenheuer und Dr. A. Behr. Vergl. ferner: Keussler, V. von, Über eine einfache spektroheliographisch-spektrohelioskopische Anordnung zur fortlaufenden Sonnenüberwachung. ZS. f. Aph. **25**, 231 (1948).

[37]) Eine ausführliche Beschreibung erfolgt an anderen Orten.

[38]) Hale, G. E., The Spectrohelioscope and its Work. Mt. Wilson Contr. Nr. 388, 393, 425 und 434. Ap. J. **70**, 265 (1929); **71**, 55 (1930); **73**, 379 (1931); **74**, 214 (1931).

Ferner wurden verwendet:

Annual Report of the Director of the Mt. Wilson Observatory 1904—1947 (1939—1941 waren nicht zugänglich).

Joy, A. H., The Mt. Wilson Observatory of the Carnegie Institution of Washington. Publ. Astr. Soc. Pac. **39**, 9 (1927).

Handbuch der Astrophysik, Verlag Springer, Berlin 1928—1936. Zur Erforschung des Weltalls. Herausgeber: Grotrian, W., und Kopff, A., Verlag Springer, Berlin 1934.

Kurze Originalmitteilungen.

Zur Frage der wirksamen Komponente von Ultraschall.

Es ist bisher nicht bekannt, ob die beobachteten biologischen Wirkungen von Ultraschall auf die im Schallfeld auftretende Wechseldruckbeanspruchung (ggf. Kavitation) oder auf die hohen Beschleunigungen zurückzuführen sind. In einem stehenden Schallwellenfeld liegen nun die Druckbäuche jeweils um eine viertel Wellenlänge gegen die Bäuche der Beschleunigung räumlich versetzt. Unter gewissen Voraussetzungen müssen sich also die einzelnen Wirkungskomponenten isoliert untersuchen lassen.

Dementsprechend wurden an einem Magnetostriktionssender von 30 kHz (Wellenlänge 5,5 cm in Wasser) derartige Untersuchungen im stehenden Schallfeld angestellt. Die verwendete Apparatur lieferte nach eigenen Feststellungen eine mittlere Leistung von etwa 0,3 W/cm². Trotz dieser relativ geringen Leistung zeigten sich im Schallfeld Reaktionen, welche den vom 800 kHz Sender bei 3 bis 5 W/cm² bekannten durchaus ähnlich waren.

Die dem Sender gegenüberliegende Wand war „schallweich", so daß sich an ihr ein Beschleunigungsbauch ausbildete. Unter Ausnutzung des Ölemulsionseffektes ließ sich das stehende Wellenfeld sichtbar machen. Die emulgierten Öltröpfchen bildeten eine deutliche Linienzeichnung jeweils in Abständen von ½ λ oder einem Vielfachen davon vom Reflektor, d. h. die Öltröpfchen sammelten sich in den Beschleunigungsbäuchen an.

Nachdem die räumliche Lage der Druck- und Beschleunigungsbäuche sichergestellt war, wurde nun zunächst die Entgasung des Wassers verfolgt. Es zeigte sich, daß sich an den Beschleunigungsknoten, also an den Orten hoher Druckdifferenzen, Gasbläschen bildeten und sich allmählich vergrößerten. Von hier wichen sie nach den Beschleunigungsbäuchen aus,

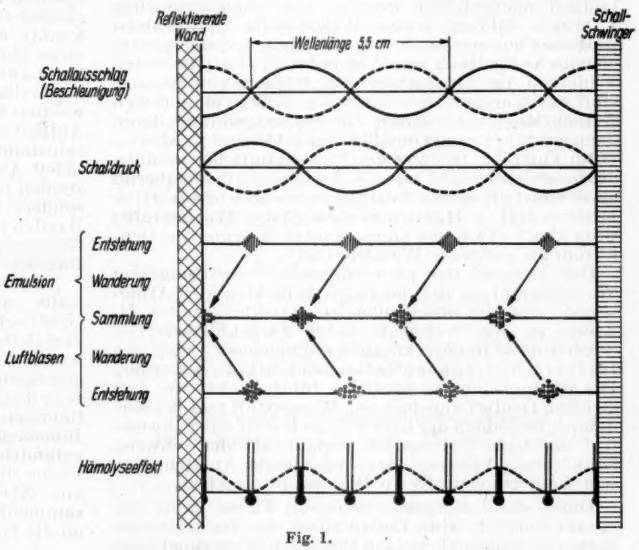


Fig. 1.

um in diesen Abschnitten an die Oberfläche zu steigen.

Mit Hilfe einer Vorrichtung, welche es gestattete, gleichzeitig eine größere Anzahl von Proben den verschiedenen Schallfeldabschnitten auszusetzen, konnte

gezeigt werden, daß die Emulgierung von Öl in Wasser vornehmlich in den Druckbäuchen stattfindet. Sie ist damit, ähnlich wie die Entgasung, auf die im Verlaufe der Schallwelle auftretenden Druckdifferenzen oder aber auf Kavitationserscheinungen zurückzuführen.

In einem ersten biologischen Versuch wurden mit der gleichen Vorrichtung Blutsuspensionen den Ultraschallwellen ausgesetzt. Es zeigte sich, daß die Hämolyse hauptsächlich in den Beschleunigungsbäuchen stattfindet. Es ist daran zu denken, daß sie auf die auftretenden Beschleunigungskräfte zurückzuführen ist; die Auflösung der Blutkörperchen wäre dann etwa im Sinne einer „Zerreibung" zu deuten.

Diese Verhältnisse, welche infolge der verwendeten Frequenz und damit der großen Wellenlänge in einer bisher nicht beschriebenen Eindeutigkeit die Aufgliederung einer Schallwelle hinsichtlich ihrer Komponenten gestatten, sind in Fig. 1 zusammengestellt.

Mit diesen Untersuchungen werden verschiedenartige Wirkungsmöglichkeiten des Ultraschalls experimentell bewiesen.

Aus der Medizinischen Universitätsklinik Erlangen, Direktor Prof. Dr. K. Matthes, Abteilung für physikalische Therapie.

O. A. Angerer.

Eingegangen am 23. Februar 1949.

Der Deuteriumgehalt des freien Wasserstoffs in der Erdatmosphäre.

Über den Gehalt der Atmosphäre an freiem Wasserstoff finden sich in der Literatur stark widersprechende Angaben. Die Firma „Gesellschaft für Linde's Eismaschinen G.m.b.H., Höllriegelskreuth bei München" hatte jedoch die Freundlichkeit, uns auf eine Anfrage hin mitzuteilen, daß nach ihren Erfahrungen der Wasserstoffgehalt der Luft etwa $5{,}0 \pm 0{,}5 \cdot 10^{-5}$ Vol. % beträgt. Wir halten diese Zahl im Gegensatz zu anderen abweichenden Angaben für sehr verläßlich, da die Firma Linde in mehreren Anlagen zur Edelgasproduktion die anfallende Wasserstoffmenge relativ zu Neon und Helium laufend beobachtet.

Da der Wasserstoff das Schwerefeld der Erde in verhältnismäßig kurzer Zeit verläßt und sicherlich auch eine ständige Oxydation von Wasserstoff, vor allem in den höheren Schichten der Atmosphäre durch angeregtes Ozon, stattfindet, muß freier Wasserstoff laufend nachgebildet werden. Das kann geschehen 1. durch Bildung freien Wasserstoffs bei Fäulnisprozessen aus organischen Substanzen, 2. durch photochemische Spaltung von Wasserdampf in den höchsten Schichten der Atmosphäre. Die Bildung von Wasserstoff durch andere Prozesse, wie z. B. bei vulkanischen Exhalationen oder durch die Höhenstrahlung, kann demgegenüber mengenmäßig vernachlässigt werden.

Im Falle der Bildung des Wasserstoffs bei Fäulnisprozessen entspricht sein Deuteriumgehalt annähernd einer Einstellung des Austauschgleichgewichtes $H_2 + HDO = HD + H_2O$; der entwickelte Wasserstoff[1]) wäre dann etwa um einen Faktor 3 *ärmer* an Deuterium als normaler Wasserdampf[2]).

Der Vorgang der photochemischen Spaltung von Wasserdampf in den höchsten Schichten der Atmosphäre und der anschließenden Abdiffusion der H-Atome in den Weltraum unter Zurückbleiben von Sauerstoff ist in einer kürzlich erschienenen Arbeit von Harteck und Jensen[3]) eingehend diskutiert worden. Die photochemische Spaltung führt primär zu dem gleichen Deuteriumgehalt von Wasserstoff und Wasserdampf. Da jedoch der leichte Wasserstoff das Schwerefeld der Erde viel rascher verläßt als der schwere, kann dieser Vorgang eine bedeutende Anreicherung von Deuterium im freien Wasserstoff ergeben.

Durch das Entgegenkommen der Firma Linde war es uns möglich, eine Bestimmung des Deuteriumgehalts von atmosphärischem Wasserstoff vorzunehmen. Hierzu wurde im März dieses Jahres im Werk Hamburg-Wilhelmsburg dieser Firma das dort anfallende Roh-Neon, das neben Helium und Neon allen Wasserstoff der Luft enthält, bei 450° C über Kupferoxyd geleitet und das gebildete Wasser in flüssiger Luft ausgefroren. Es wurden so aus einigen 100 000 m³ Luft zwei Proben von je 30 cm³ Wasser gewonnen und deren Dichte nach sorgfältiger Reinigung pyknometrisch bestimmt. Beide Proben ergaben dasselbe Resultat: *der freie Wasserstoff der Atmosphäre steht mit dem Wasserdampf nicht im thermodynamischen Gleichgewicht.* Die gefundenen Dichten waren sogar höher als die von normalem Hamburger Wasser und entsprachen einem um $25 \pm 7\%$ höheren Deuteriumgehalt.

Wir vermuten, daß diese Anreicherung von Deuterium im atmosphärischen Wasserstoff auf den von Harteck und Jensen[3]) diskutierten Vorgang der Abwanderung von Wasserstoff aus dem Schwerefeld der Erde zurückzuführen ist. Weniger wahrscheinlich erscheint eine Anreicherung durch die Kinetik der Oxydationsvorgänge. Eine laufende bevorzugte Abwanderung von leichtem Wasserstoff in den Weltraum würde eine Zunahme des Deuteriumgehaltes des Oberflächenwassers im Laufe der Entwicklungsgeschichte der Erde bedeuten, so daß im allgemeinen juveniles Wasser einen geringeren Deuteriumgehalt besitzen müßte als vadoses. Jedoch scheinen hier die Verhältnisse durch das Ineinandergreifen verschiedener Separationsvorgänge sehr verwickelt zu sein.

Hamburg, Institut für physikalische Chemie der Universität.

Paul Harteck, Hans E. Sueß.

Eingegangen am 28. Juni 1949.

[1]) Vgl. z. B. Bonhoeffer, K. F., Z. Elektrochem. **44**, 92 (1938).
[2]) Die Konstante des genannten Austauschgleichgewichtes hat bei 20° C den Wert 3,63. Nähere Angaben bei Sueß, H. E., Z. Naturforschg., im Erscheinen.
[3]) Harteck, P. und Jensen, H. J. D., Z. Naturforschg. **3a**, 591 (1948).

Flammenspektren mit Stickoxyd als Verbrennungspartner.

Stickoxyd (NO) an Stelle von Sauerstoff unterhält im allgemeinen nicht oder nur schwer die Verbrennung, im Gegensatz zu Stickoxydul (N_2O). Es gelang jedoch, mit einem Gemisch aus Benzoldampf und Stickoxyd, das aus Kupfer und Salpetersäure entwickelt wurde und daher geringe Mengen an NO_2 enthielt, eine normale Flamme herzustellen. Mit Leuchtgas und NO konnte keine Flamme mit Brennkegel erzeugt werden, sondern lediglich unter Mitwirkung der freien Atmosphäre eine Diffusionsflamme. Von beiden Flammen konnte ein Spektrum aufgenommen werden. Infolge eines starken Kontinuums ist vom Benzol-NO-Spektrum nur der kurzwellige Teil auflösbar, während der langwellige Teil nur bei Durchleuchtung der Platte auswertbar ist. Es zeigt sich, daß dieser genau denselben Aufbau hat wie das Spektrum der Leuchtgas-NO-Diffusionsflamme. Neben den Banden des OH, CH, CN, NH (3360 Å), die zumeist bei der Verbrennung von Systemen mit gebundenem Stickstoff auftreten, sind besonders charakteristisch das Auftreten zweier NH-Banden bei 3240 und 3253 Å und der vierten positiven Gruppe der CO-Banden. Es fehlen dagegen die C_2-Banden.

Nach Gaydon[1]) sind die 2 NH-Banden in Flammen bisher nicht festgestellt worden, sondern außer in elektrischen Entladungen sind sie nur von Gleu beim Zerfall von Chlorazid in Chemilumineszenz gefunden worden. Die CO-Banden treten in O_2-Flammen im allgemeinen ebenfalls nicht auf, sondern sind von Gaydon erst bei langer Belichtung in Niederdruckflammen von Kohlenwasserstoff-O_2-Gemischen und im Innenkegel der Sauerstoff-Azetylen-Schweißflamme gefunden worden. Es ist zu vermuten, daß in diesen Fällen die Erzeugung der CO-Banden mit der Bildung von NO bei den hohen Flammentemperaturen zusammenhängt, so daß das Auftreten der CO-Banden an die Gegenwart von NO gebunden wäre.

Hans Behrens. Fritz Rössler.

Eingegangen am 7. Mai 1949.

[1]) Gaydon, A. G., Spectroscopy and Combustion Theory 2. Ed S 205, London (1948).

Papierchromatographie von α-Ketosäuren.

α-Ketosäuren bilden mit *o*-Phenylendiamin im Ultravioletten lebhaft gelbgrün fluoreszierende Verbindungen, wenn man in stark mineralsaurer Lösung kurz erhitzt. Es handelt sich dabei wahrscheinlich um Derivate des Oxy-chinoxalins (vgl. [1])). Versuche, diese empfindliche Nachweisreaktion auf Filtrierpapier auszuführen, scheiterten an der Unbeständigkeit der Cellulose gegenüber Schwefel- oder Salzsäure in der Hitze. Wie wir nun gefunden haben, gelingt die Bildung der fluoreszierenden Stoffe auf dem Filtrierpapier bei Verwendung von Trichloressigsäure als Kondensationsmittel. Zum Nachweis kleinster Mengen an α-Ketosäuren besprüht man mit einer frisch bereiteten 0,05%igen Lösung von *o*-Phenylendiamin in 10%iger wäßriger Trichloressigsäure und trocknet genau 2 Min. bei 100° im Trockenschrank. Das Papier soll sich dann noch schwach feucht anfühlen und eben gelblich gefärbt sein; bei zu starkem Erhitzen fluoresziert die gesamte besprühte Fläche orangerot. An den Stellen der α-Keto-Verbindungen leuchtet das Papier im Ultraviolett stark gelbgrün.

Tabelle 1.

α-Ketosäuren	R_F-Werte	
	PWB	WDB
Brenztraubensäure	0.29	0.46
Dimethyl-Brenztraubensäure	0.60	0.78
Cinnamoylameisensäure	0.75	0.95
α-Ketoglutarsäure	0.21	0.07
Oxalessigsäure	0.16*)	0.04*)

*) Außer diesen Flecken wurden, besonders in PWB, diejenigen der durch Decarboxylierung entstandenen Brenztraubensäure gefunden.

Wir haben mit Hilfe dieses Nachweises das papierchromatographische Verhalten einiger α-Ketosäuren (1%ige Lösungen) untersucht. Als Lösungsmittel erwiesen sich besonders geeignet: 1. Propionsäure-Wasser-*n*-Butanol (5 : 7 : 10 Volumina, PWB) und 2. Wasser-α-*N*-Dimethyl-aminoisobutyronitril-Butanol (3 : 4 : 6, WDB). Die R_F-Werte der untersuchten α-Ketosäuren in den beiden Lösungsmitteln sind in Tab. 1 angegeben. Vor dem Nachweis wurden die Papierstreifen im Trockenschrank bis zum Verschwinden des Lösungsmittelgeruchs getrocknet.

Kaiser-Wilhelm-Institut f. med. Forschung, Institut für Chemie, Heidelberg und Organisch-chemisches Institut der Universität Mainz.

Theodor Wieland und Edgar Fischer.

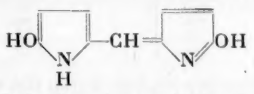
Eingegangen am 20. Mai 1949.

[1]) O. Hinsberg, Ann. **292**, 245 (1896).

Stellungnahme zur Erwiderung Prof. Dr. W. Siedels auf meine Diskussionsbemerkung.

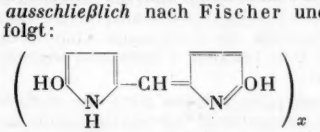
Sämtliche Originalarbeiten und Referate Siedels sind mir bekannt. Sie veranlassen mich zu folgenden Feststellungen:

1. Bis zum Erscheinen meiner ersten Arbeit[1]) über Dioxypyrromethene formulierte Siedel das Mesobilifuscin (= Körper II) *ausschließlich* wie folgt:



Die β-Substituenten sind hier fortgelassen.

Seit Erscheinen dieser Arbeit formuliert er das Mesobilifuscin *ausschließlich* nach Fischer und Dobeneck[2]) wie folgt:



Dieser Wechsel fand statt, ohne daß Herr Siedel irgendwelche neuen Argumente oder Versuchsergebnisse bekanntgab und ohne daß er mit einem Wort meine diesbezüglichen Resultate erwähnte.

2. In der von mir diskutierten „kurzen Originalmitteilung"[3]) schreibt Siedel über seine Arbeit Z. f. physiol. Chem. 259, 113 (1939): „Das Bilifuscin ... wurde damals in Form seines Hydrierungsproduktes ... in seiner Konstitution aufgeklärt und synthetisiert." Eine analoge Bemerkung, jedoch mit der monomeren Formulierung, findet sich bereits früher[4]).

Die besagte Arbeit enthält die für jeden unvoreingenommen Leser als in erster Linie akzeptierte Molekulargewichtsbestimmung von 328, eine für diese Formulierung passende Bestimmung des aktiven Wasserstoffs und eine Synthese. Diese verläuft über ein sogenanntes „Oxomesobilifuscin" dessen unzutreffende Formulierung als Dioxypyrroketon ich seit langem nachgewiesen habe[5]). Es ist klar, daß diese Tatsache die Beweiskraft der Synthese entscheidend beeinflußt, und zwar in dem Sinne, daß dem Mesobilifuscin eine wasserstoffärmere Formulierung zukommt als von Siedel und Fischer-Dobeneck angenommen. Siedel hat diese Situation nie erwähnt, sondern hat in der Folge das Oxoprodukt überhaupt nicht mehr formuliert.

Die Arbeit bringt weiterhin den Versuch einer Totalsynthese, ausgehend von Dibrompyrromethen und Alkoholat. Diese Synthese ist nicht zu Ende durchgeführt, es werden keine Analysendaten gegeben und eine Fortsetzung der Versuche in Aussicht gestellt. Weitere Berichte über synthetische Versuche sind jedoch nicht mehr erfolgt. Um so mehr mußte die oben erwähnte Bemerkung verwundern, daß die Konstitutionsaufklärung bereits damals (1939) erfolgt sei.

3. Nachdem Siedel in seiner Mitteilung über das Pro-Mesobilifuscin (Meso-Bilileukan)[6]) dieses als Oxy-oxo-pyrromethan formuliert — ebenfalls ohne Erwähnung der Tatsache, daß ich diese Konstitutionsformel seit langem dem stabilen Zustand der Dioxypyrromethene zugeschrieben habe —, sieht er sich nun, nach Erscheinen meiner Diskussionsbemerkung zum erstenmal in obigem Nachtrag gezwungen, eine meiner Arbeiten über Dioxypyrromethene zu zitieren. Er nimmt daraufhin seine Formulierung des Pro-Mesobilifuscins (Meso-Bilileukans) zurück. Dieses, das nun nach Siedel wasserstoffärmer ist als ein Dioxypyrromethen (bzw. Oxy-oxo-pyrromethan), soll sich spontan mit Säuren in Mesobilifuscin umlagern. Demnach wäre — wie schon auf Grund obiger Überlegungen vermutet — das Mesobilifuscin wasserstoffärmer als ein Dioxypyrromethen.

Ich hoffe hiermit dargetan zu haben:

1. Daß meine einschlägigen Publikationen zum Teil verwertet wurden, aber bis zum Erscheinen meiner Diskussionsbemerkung unerwähnt blieben.

2. Daß die Behauptung Siedels, das Mesobilifuscin bzw. das Bilifuscin seien in ihrer Konstitution aufgeklärt, unrichtig ist.

3. Daß dem „Körper II" und dem Bilifuscin, falls es sich überhaupt um chemische Individuen handelt, wahrscheinlich eine wasserstoffärmere Formulierung zukommt, als bisher angenommen.

Henning v. Dobeneck.

Eingegangen am 18. März 1949.

[1]) Dobeneck, H. v., Z. f. physiol. Chem., **270**, 223 (1941).
[2]) Fischer, H. und Dobeneck, H. v., ebenda, **263**, 134 (1940).
[3]) Siedel, W., et. al., Diese Ztscht. **34**, 314 (1947).
[4]) Meldolesi, G., et. al. Z. f. physiol. Chem., **259**, 137 (1939).
[5]) Dobeneck, H. v., ebenda, **269**, 268 (1941).
[6]) Siedel, W., et. al. Naturw. **34**, 316 (1948).

Antwort auf die „Diskussionsbemerkung" Dr. v. Dobenecks (Naturw. 35, 221 (1948)).

Auf die „Diskussionsbemerkung" des Herrn Dr. v. Dobeneck zur Originalmitteilung über Mesobilifuscin[1]) hatte ich eine Erwiderung an die Redaktion der „Naturwissenschaften" eingesandt mit der Bitte, sie aus Gründen der Fairneß Herrn v. Dobeneck vorzulegen. Nachdem v. Dobeneck in einer erneuten Stellungnahme die gleichen unsachlichen Behauptungen in neuer Fassung wiederholt, erachte ich die Aufnahme einer Diskussion als unfruchtbar und wenig sinnvoll.

Ich stelle es dem Belieben der Leser anheim, an Hand der unten angegebenen Literaturstellen[2] [3] [4] [5] den Sachverhalt zu beurteilen und festzustellen, daß ich bereits 1939[3] die Eigenschaften des Mesobilifuscins durch die Annahme der Zusammenlagerung *mehrerer* Moleküle des Pyrromethen-Grundkörpers erklärt habe. Ob dieser Zustand als Polymerisation oder Assoziation zu formulieren ist, ist auch heute noch ungeklärt. Das bisherige experimentelle Material (das Mesobilifuscin ist bis jetzt ausschließlich von meinen Mitarbeitern und mir bearbeitet worden) genügt für einen eindeutigen Entscheid noch nicht.

Walter Siedel.

Eingegangen am 20. April 1949.

[1]) Siedel, W., Pölnitz, W. v. und Eisenreich, F., Naturw. **34**, 314 (1947).
[2]) Siedel, W. und Möller, H., Hoppe-Seylers, Z. f. physiol. Chem., **259**, 113, 126 (1939).
[3]) Siedel, W., Fortschritte der Chemie organischer Naturstoffe, **3**, 128 (1939). Verlag J. Springer, Wien (Herausg. L. Zechmeister).
[4]) Siedel, W., Angewandte Chemie, **53**, 397 (1940).
[5]) Fischer, H. und Dobeneck, H., v. Hoppe-Seylers Z. f. physiol. Chem., **263**, 134 (1940).

Über Plasmon-inducierte Genlabilität.

Bei der Analyse der am *Epilobium hirsutum* Essen[1] × *parviflorum* Tübingen-Bastard aufgefundenen Plasmonvarianten[2] wurden unter den Nachkommen der Plasmonabänderung *vernicosum* 10—50% Pflanzen gefunden, die in hohem Maße den *pallidovariabilis*-Pflanzen glichen, die Correns[3] bei *Capsella Bursa pastoris* untersuchte. Auf den blaßgrünen oder weißlichen Blattflächen treten zahlreiche scharf umgrenzte normalgrüne Spritzer, Flecken oder Sektoren (pro cm² durchschnittlich 17—19) auf. Es handelt sich um ein dominantes, homozygot nicht lebensfähiges Gen (=*pallidovariabile*). Die aus grünen Sektoren entstandenen Pflanzen zeigen durch seltene weiße Spritzer (pro Pflanze ca. 2—10) eine Rückmutation zu *pallidovariabile* an, während an den normalen *hirsutum* × *parviflorum*-Bastarden solche Spritzer fehlen.

Die Manifestation des *pallvar.*-Genes wird von Umwelt, Genotyp und Plasmotyp beeinflußt. Deutlich zu erkennen ist es im Rosettenstadium. Am Blühsproß dunkelt der blasse Blattgrund nach, so daß sich die grünen Areale nicht mehr oder nur schlecht abheben. Bei Gegenwart bestimmter Gene wird das *pallvar.* Merkmal ± stark oder völlig unterdrückt, so daß die *pallvar.* Pflanzen in di- oder trihybriden Spaltungszahlen auftreten. In den Plasmon-gestörten melierten Pflanzen verschwimmen die scharfen Konturen der grünen Areale, an extrem gestörten *vernicosum*-Pflanzen ist *pallvar.* nicht mehr zu erkennen. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei der Plasmonabänderung *irregulare*. Da *irregulare* und *vernicosum* nur durch die Mutter vererbt werden, kann bei reciproker Kreuzung mit extremen *irregulare*- oder *vernicosum*-Pflanzen eine mütterliche Vererbung von *pallvar.* vorgetäuscht werden. Die Häufigkeit der Mutation von *pallvar.* zu grün ist, wie bei anderen Fällen labiler Gene[4]) Plasmonunabhängig. Durch Pollen-letale Kombinationen von *pallvar.* mit anderen Genen können allerdings reciproke Unterschiede in der Häufigkeit der *pallvar.* Pflanzen auftreten.

Wichtig sind die Ergebnisse über die Entstehung der Genlabilität (Tab. 1).

Den zur Herstellung des *hirsutum* Essen × *parviflorum* Tübingen-Bastardes verwendeten *Epilobium*-Sippen fehlt, wie in vielen Kreuzungen festgestellt wurde, das labile Gen *pallvar.* Dasselbe gilt für den *parvifl.* ♀ × *hirs.* ♂ = Bastard. Die reciproken, extrem verzwergten Pflanzen kommen normalerweise nicht zur Blüte. Infolge der abnormen Witterungsverhältnisse des Frühjahres 1947 trat eine modifikative Enthemmung der Plasmon-gestörten Bastarde ein, und es konnten 79 Pflanzen durch Kreuzung untersucht werden. Keine der Pflanzen enthielt *pallvar.* Nachdem im Winter 1947/48 die bekannten Plasmonabänderungen[2]) auftraten, wurden zum Teil dieselben Pflanzen, die 1947 mit negativem Erfolg auf *pallvar.* untersucht wurden, nochmals geprüft. 37 *irregulare* Abänderungstriebe (von 24 Pfl. der Tab. I und 14 Triebe [6 Pfl.], die *vernicosum* und *irregulare* gemeinsam enthielten), besaßen kein *pallvar.* Dagegen wurden bei 8 von 33 *vernicosum* Abänderungen, die an 6 von 20 Pflanzen entstanden waren, *pallvar.* gefunden. Nimmt man eine Durchschnittshäufigkeit von 6 *pallvar.* unter 129 Pflanzen gleichmäßig für alle Versuche an (= 4,7%), so wäre die obere Grenze des Zufallsbereiches (3 σ) für vernicosum bei (4,7 + 21,3 =) 26,0% (Koller-Tabellen) anzunehmen, ein Wert, der deutlich unter dem beobachteten von 30% liegt (σ = 3,45, P = 0,05%). Weiterhin ließ sich der Zeitpunkt des Labilwerdens noch genauer festlegen. An einer Pflanze, die 1947 kein *pallvar.* enthielt, entstanden 1948 nebeneinander je 1 *vernicosum*, 1 *irregulare*, 1 *adaequatum* und 1 *irregulare* + *vernicosum*-Abänderung. *Pallvar.* kam nur bei der *vernicosum*-Abänderung vor. In 3 weiteren Fällen enthielt ebenfalls nur einer von mehreren Abänderungstrieben *pallvar.* Die Labilität des Genes *pallvar.* entstand also erst nach der Bildung der Plasmonabänderung und fand in größerer Häufigkeit nur im *vernicosum*-Plasma statt. Weiterhin wurden an dem Abänderungstrieb 44/18 insgesamt 56 Blüten untersucht. Nur 2 Blüten enthielten *pallvar.* Die eine dieser Blüten befand sich an dem einen Steckling inmitten des terminalen Blütenstandes, die andere Blüte befand sich an dem 2. Steckling an dem ersten Seitenast unter dem terminalen Blütenstand, während der gegenüberliegende Seitenast ebenso wie die darunterliegenden Seitenäste und der terminale Blütenstand keine weiteren Blüten mit *pallvar.*-Nachkommen enthielten. In einem weiteren Fall enthielt die 15. Blüte des Blütenstandes *pallvar.* Die 16. und 13. Blüte sowie die weiteren Blüten der Pflanze waren frei von *pallvar.* Auch in den übrigen Fällen (Tab. 2) war nur in einzelnen Blüten des Blütenstandes *pallvar.* nachzuweisen. Daraus ist zu entnehmen, daß die Labilität von *pallvar.* in größerer Häufigkeit erst während der Blütenbildung entsteht, obwohl die *vernicosum*-Abänderung in allen Fällen an den basalen Überwinterungsknospen entstanden ist.

Tabelle 1.

Mutterpflanze		Anzahl der untersucht. Pflanzen	n der F_1	Anzahl der Pflanzen mit *pall.*	Anzahl der untersucht. Abänderungstriebe	Anzahl der Abänderungen mit *pall.*
1947/8	*hirs.* × *parv.* F_1	79	1307	0		
1948/9	*hirs.* × *parv. irregulare*	24	3219	0	37	0
	hirs. × *parv. irr.* + *vern.*	6	1698	0	14	0
	hirs. × *parv. vernicosum*	20	4952	6(=30%)	33	8(=24,2%)

Tabelle 2.

Pfl. Nr.	Zahl der untersuchten Stecklinge	davon mit *pall.*	Zahl der untersuchten Blüten	n	Zahl der Blüten mit *pall*	n	% *pall.*
44/18	6	2	54	1625	1	47	2,1
					1	55	20,0
20/3	4	2	26	982	1	16	12,5
					1	5	40,0
1/15	2	1	4	150	1	23	8,7
19/3	4	1	13	268	1	35	8,7
48/21	1	1	3	137	1	44	36,4
28/18	1	1	7	241	1	15	6.6

Mit diesen Ergebnissen wird die mehrfach ausgesprochene Vermutung[4])[5]) bestätigt, daß an der Entstehung der Genlabilität das Plasma beteiligt sein kann, auch in den Fällen, in denen dann die Mutationsrate des labil gewordenen Genes Plasma-unabhängig

ist. Es werden weiterhin die Ergebnisse von Stubbe[6]), der in *Epilobium*-Pflanzen mit artfremden Plasmon[7]) eine erhöhte Mutationsrate feststellen konnte, für einen speziellen Genlocus und für eine spezifische Plasmonkombination bestätigt.

Voldagsen über Elze, Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung. P. Michaelis.

Eingegangen am 3. Mai 1949.

[1]) Herr Prof. Lehmann, Tübingen, bittet um die Feststellung, daß die mir von H. Brücher überlassene hirsutum-Sippe Essen aus seiner hirsutum-Sippe 43 entstanden ist (Lehmann, E. 1941. Jahrb. f. wiss. Bot. **89**, 637).

[5]) Michaelis, P., Über Abänderungen des plasmatischen Erbgutes. Ztschr. f. Vererbl. **83**, 36 (1949)

[3]) Correns, C., Sitzber. d. Preuß. Akad. d. Wiss. **34**, 585 (1919).

[4]) Stubbe, H., Nachr. d. Ges. d. Wiss. Göttingen. Math. phys. Kl. **2**, 57 (1935).

[5]) Haan, H. de, Genetics, **12**, 321 (1931).
Demerec, M., Journ. of Genet, **24**, 179 (1931).
Ernst, A., Züchter, **8**, 281 (1936).
Imai, Y., Ztschr. f. ind. Abst. u. Vererbl. **68**, 242 (1935).
Lamprecht, H., Züchter, **13**, 97 (1941).
Lilienfeld, F. A., Bibl. Genet. **13**, 1 (1929).
Renner, O., Ztschr. f. ind. Abst. u. Vererbl. **74**, 91 (1937).
Wettstein, F. v., Bibl. Genet. **10**, 1 (1928).

[6]) Stubbe, H., Ztschr. f. ind. Abst. u. Vererbl. **70**, 161 (1935).

[7]) Michaelis, P. u. G., Planta, **35**, 467 (1948).

Besprechungen.

Jaspers, Karl, **Philosophie.** Zweite, unveränderte Auflage. XX, 913 S. Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1948. 36 DM.

Die Naturforschung hat ihren Weg gefunden, ohne bei den Philosophen Rat zu holen; aber der Forscher will nicht nur seine naturwissenschaftlichen Ergebnisse erreichen, er will auch die Grundlagen seiner Arbeit und die Konsequenzen ihrer Ergebnisse verstehen. So konnten viele philosophische Schriften dem Naturwissenschaftler Anregung bieten, Anregung, indem er Belehrung schöpfte oder seinen eigenen Standpunkt in der Kritik am anderen entwickelte. Unabhängig von Zustimmung oder Ablehnung lasen daher Physiker und Biologen Schriften von Kant und Neukantianern, von Positivisten und Empiristen, Idealisten und Materialisten, Mechanisten und Vitalisten aller Schattierung und aller Zeiten mit Gewinn.

Vom Buch Jaspers darf der Naturwissenschaftler einen Gewinn für *seine* Probleme nicht erwarten. Das ergibt sich schon deutlich aus der „Selbstunterscheidung der Philosophie von Wissenschaft": „Jede Wissenschaft hat einen Gegenstand. Gibt sich Philosophie als Wissenschaft, so kann sie sich durch *keinen Gegenstand* legitimieren." „Sie nennt wohl ‚das Ganze' ihren Gegenstand", doch dieses Ganze, „wie ich es auch nenne, als Gegenstand entrinnt es mir". „Philosophieren ist Denken, das im Besitz zwingender Einsicht sich der nicht zwingenden Einsicht vergewissert, welche Explikation des Glaubens ist." Der Naturwissenschaftler ist im allgemeinen mehr geneigt, die Philosophie, in seinem Sinne, als eine Wissenschaft zu betrachten, sich also nicht mit jenem „Ganzen", sondern mit bestimmten (natürlich nicht materiellen) Gegenständen zu befassen; er möchte über die ihn interessierenden Probleme mit Gründen und Tatbeständen diskutieren. Doch gerade das schließt Jaspers aus seiner Philosophie aus: „In den Wissenschaften wird unpersönlich um die Sache gestritten, die eine besondere und bestimmte ist und als sie selbst gemeint bleibt. Es gibt Gründe und Tatbestände, Sachverhalte und Erfahrungen, die herbeigeholt und zur Geltung gebracht werden, bis die objektiv zwingende Entscheidung gelingt. Im Philosophieren bleibt wissenschaftliche Diskussion zwar Boden und Medium, aber in ihr wird zugleich ein anderes gemeint. Das philosophische Sprechen ist mit dem sachlich ausgedrückten Inhalt nicht erschöpft."

Eine Kritik steht dem Naturwissenschaftler nicht zu; aus jenen Formulierungen ergibt sich, daß hierzu die Basis fehlt. Doch daß es eine solche Philosophie gibt und sie gegenwärtig im Vordergrund steht, ist für den Naturwissenschaftler wohl wissenswert — in mehrfacher Hinsicht. Unabhängig hiervon wird jeder, der nicht nur Naturwissenschaftler ist, das Buch mit Gewinn lesen.

E. Bünning.

Eingegangen am 4. April 1949.

Cremer, Lothar, **Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik. Bd. I, Geometrische Raumakustik.** (Physik und Technik der Gegenwart, Abteilung Akustik, herausgegeben von Erwin Meyer.) S. Hirzel Verlag, Stuttgart 1948. 8,40 DM.

Der Band ist der erste eines in 3 Teilen erscheinenden Werkes über Raumakustik. Die 3 Teile entsprechen einer vom Verfasser gewählten Gliederung des Gebiets nach Betrachtungsweisen: Band I behandelt die „geometrische Raumakustik", d. h. diejenigen Erscheinungen, die man durch Strahlenbetrachtungen analog denen der geometrischen Optik deuten kann; Band II wird der „statistischen", Band III der „wellentheoretischen Raumakustik" gewidmet sein. Die Reihenfolge ist also zugleich diejenige einer zunehmenden Verfeinerung der Betrachtungsweise.

Im vorliegenden Band I werden in den ersten vier Kapiteln die Gesetze der Schallausbreitung und der Schallreflexion an ebenen und gekrümmten Flächen behandelt, soweit man sie durch eine Geometrie der „Schallstrahlen" und „Wellenfronten" fassen kann. In den beiden nächsten Kapiteln, „Flüstergalerien" und „Echo", folgt die Anwendung der allgemeinen Gesetze auf spezielle raumakustische Phänomene, wobei auch berühmten, hierher gehörigen Kuriositäten liebevolle Aufmerksamkeit gewidmet ist, wie etwa dem „Ohr des Dionys" oder den bei gewissen Kuppelräumen möglichen Mehrfachechos mit langen Laufzeiten. Die psychologischen und physiologischen Faktoren, die für die Wahrnehmbarkeit von Echos maßgebend sind, werden ausführlich diskutiert in zwei Kapiteln über „psychologische Bewertung des reflektierten Schalls" und „das Ohr". Drei Kapitel, und fast ein Drittel des Gesamtumfangs des Bändchens, befassen sich mit den gewissermaßen konstruktiven Aufgaben der Raumakustik: Mit der „geometrischen Lenkung des nützlichen Schalls", also mit den geometrisch-akustischen Gesichtspunkten für die Formgebung von Räumen; mit der „künstlichen Schallverstärkung" durch elektroakustische Mittel (Lautsprecheranlagen) und mit „Modellversuchen" zum Studium akustischer Eigenschaften von Räumen an verkleinerten Modellen. Im letzten Kapitel schließlich — und damit ist wohl auch die Verbindung zum zweiten Band hergestellt — wird der „Schluckgrad" von Wänden und Wandbekleidungen für auftreffende Schallwellen eingeführt, der den Materialeinfluß kennzeichnet. In diesem Zusammenhang wird noch auf den Einfluß der Beugung bei begrenzter Ausdehnung der reflektierenden Flächen kurz eingegangen und gezeigt, wie man mit der Methode der „Fresnelschen Zonen" die Gültigkeitsgrenzen geometrisch-akustischer Gesetze abschätzen kann.

Verglichen mit den wenigen anderen Darstellungen desselben Gegenstands — die übrigens alle älteren Datums sind — ist dieses Buch in erster Linie von einem physikalischen Standpunkt aus geschrieben. Dabei macht der Verfasser, ohne daß der besonders hervorzuhebenden Gründlichkeit der Darstellung Abbruch getan wird, in diesem Band nur von verhältnismäßig elementaren Überlegungen Gebrauch, so daß auch z. B. Architekten sich ohne große Mühe an Hand des Buches über geometrische Raumakustik unterrichten können.

Arnold Schoch.

Eingegangen am 20. April 1949.

Bratzler, Karl, **Adsorption von Gasen und Dämpfen in Laboratorium und Technik.** 218 S. mit 97 Abbildungen. Verlag von Theodor Steinkopff, Dresden und Leipzig 1944. Geb. 14, brosch. 13 DM.

Nach den Worten des Verfassers soll das Büchlein den Charakter eines Fortschrittsberichtes haben. Die Berichtszeit soll die letzten 10 Jahre vor seinem Erscheinen umfassen. Der allgemeine Teil mit einem Umfang von 60 Seiten befaßt sich mit den theoretischen Grundlagen der Adsorption. Der spezielle Teil, welcher den größeren Umfang von etwa 135 Seiten besitzt, ist in drei Kapitel unterteilt. Das erste beschreibt die Herstellung und Untersuchung der in der Technik der Gasadsorption gebräuchlichen Adsorptionsmittel, das zweite deren Anwendung im Laboratorium, das dritte die in der Technik. Den Abschluß bildet ein Literaturverzeichnis mit 255 Zitaten, ein Patentverzeichnis mit 202 Nummern und schließlich ein Autoren- und Sachregister.

Das Werk ist in erster Linie wohl für diejenigen bestimmt, die sich über Wesen und Anwendbarkeit der Adsorption orientieren, aber nicht tiefer in die Materie eindringen wollen, also für Chemiker und Techniker, die sich bei ihrer beruflichen Tätigkeit gelegentlich mit Adsorptionsproblemen beschäftigen müssen. Diesem Zwecke dienen die klaren Ausführungen des letzten Kapitels, in dem die heute gebräuchlichen technischen Verfahren und ihre Anwendungsgebiete an Hand von Schemata kurz beschrieben werden. Auch werden immer wieder Gesichtspunkte herausgestellt, die für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit des Adsorptionsverfahrens im Vergleich mit dem der Auswaschung und der Kondensation wichtig sind. Das Kapitel, welches sich mit der Adsorption im Laboratorium befaßt, beschreibt mehrere nach dem Adsorptionsprinzip arbeitende Analysenverfahren und legt Gründe dar, warum diese denen der fraktionierten Destillation und Kondensation vorzuziehen seien. Ob aber in der Gasanalyse den Adsorptionsmethoden allgemein der Vorzug vor anderen Methoden zu geben ist oder nicht, hängt nach Ansicht des Referenten mehr von der Möglichkeit der einzelnen Laboratorien ab als von der Methode selbst, da die praktische Ausführung in keinem Falle ganz einfach ist.

Das Kapitel über die Grundlagen der Adsorption stellt zwar hauptsächlich einen Bericht dar, bei dem die Ergebnisse der einzelnen Arbeiten ohne genaue Ableitung gebracht werden und der dem Leser auf Grund der Literaturverzeichnisse das Aufsuchen einer gewünschten Originalarbeit erleichtert; jedoch ist es wohl auch für eine erste Einführung in das Gebiet recht brauchbar.

Das Werk stellt trotz des umfassenden Überblicks keine hohen Anforderungen an den Leser und kann daher allen denen empfohlen werden, denen die Zeit zu einem intensiven Studium der Literatur fehlt. Nach Ansicht des Referenten hätte seine Brauchbarkeit noch gewonnen, wenn der Verfasser mehr Tatsachenmaterial bezüglich der *gebräuchlichen Adsorptionsmitteltypen* mitgeteilt und dafür einige nur in losem Zusammenhang mit der Adsorption stehende Angaben (z. B. Dampfdruckkurven) weggelassen hätte.

W. Hunsmann.

Eingegangen am 20. April 1949.

Kortüm, G., **Kolorimetrie und Spektralphotometrie.** (Anleitungen für die chemische Laboratoriumspraxis Bd. II.) 2. Aufl. 236 S. Springer-Verlag 1948, kart. 16,50 DM.

In diesem nunmehr in seiner 2. Auflage erschienenen Buch sind die Meßprinzipien und die heute gebräuchlichen Methoden der Kolorimetrie und Spektralphotometrie dargestellt. Als kolorimetrische Untersuchungsmethoden sind dabei solche bezeichnet, die auf Grund eines Farbvergleiches zwischen einer Lösung bekannter und einer solchen unbekannter Konzentration des gleichen Stoffes diese unbekannte Konzentration zu ermitteln gestatten. Die kompliziertere spektralphotometrische Methode ermöglicht darüber hinaus die absolute Extinktionsmessung bei gegebener Wellenlänge.

In Kap. I sind die allgemeinen Grundlagen dieser Methoden gegeben. Kap. II behandelt die verschiedenen visuellen Kolorimeter, Spektralphotometer und Nephelometer. In dem sehr ausführlichen Kap. III sind die lichtelektrischen Methoden beschrieben, die in letzter Zeit zunehmend Anwendung gefunden haben, aber dabei in ihrer Zuverlässigkeit oft nicht richtig beurteilt worden sind. Die Vor- und Nachteile der verschiedenen Strahlungsempfänger (Sperrschichtphotoelemente und Alkaliphotozellen) und Meßprinzipien (Ausschlags- und Substitutionsmethoden, elektrische und optische Kompensation, Flimmermethoden) sind eingehend diskutiert. Dabei ist die Anwendbarkeit zu lichtelektrischen Titrationen besonders berücksichtigt. Kap. IV behandelt die spektrographischen Methoden. Kap. V gibt eine Reihe von Anwendungsbeispielen für die Behandlung von Konstitutionsproblemen, von Tautomerie- und Dissoziationsgleichgewichten sowie zur analytischen Konzentrationsbestimmung.

Gegenüber der Darstellung der Fluoreszenzmethoden, die allerdings nur einen geringen Raum des Buches einnehmen, möchte der Referent einige Bedenken äußern. Fluoreszenzmessungen sind durchaus nicht nur als Relativmessungen (S. 64, 195) durchführbar, vielmehr gestatten sie auch die Absolutbestimmung der Energie- oder Quantenausbeute der Fluoreszenz. Andererseits erscheint es wenig zweckmäßig, ein molares Fluoreszenzvermögen durch Bezug auf die Konzentrationseinheit zu definieren (S. 60, 199). Auch bei der Konzentrationslöschung bestimmt man üblicherweise die Verringerung der Fluoreszenzausbeute — oder der Fluoreszenzintensität bei gleichbleibenden Bedingungen — und nicht diejenige des molaren Fluoreszenzvermögens (S. 60).

Durch die vortreffliche Darstellung in den wesentlichen Teilen des Buches sind solche Einwände mehr als ausgeglichen. Hier ist die langjährige eigene Erfahrung des Verfassers in der Anwendung kolorimetrischer und spektralphotometrischer Untersuchungsmethoden niedergelegt und zugänglich gemacht worden. Das Buch wird allen auf den gleichen Gebieten arbeitenden Chemikern und Physikochemikern wertvolle Anregungen geben.

Th. Förster.

Eingegangen am 4. Mai 1949.

Eistert, B., **Chemismus und Konstitution,** 1. Bd. 387 S., F. Enke, Stuttgart 1948, geh. 39 DM, geb. 41,50 DM.

Die vor einem Jahrzehnt erschienene Monographie „Tautomerie und Mesomerie" des gleichen Verfassers hat große Beachtung und allgemeines Interesse gefunden. Eine neue Bearbeitung und Erweiterung stellt das vorliegende zweibändige Werk dar, das die Elektronentheorie der chemischen Bindung und deren Anwendung auf Probleme der Struktur und Reaktionsfähigkeit von Molekülen behandelt. In dem bisher erschienenen ersten Band sind umfangreiche Kapitel der Theorie der konjugierten und aromatischen Bindung sowie dem Zusammenhang zwischen Struktur- und optischen Daten gewidmet. Ebenso ausführlich sind die Theorie der Säuren und Basen, die zwischenmolekularen Kräfte und die Elektronentheorie der chemischen Umsetzungen behandelt.

Für das Verständnis des umfangreichen Erfahrungsmaterials der Chemie sind Darstellungen äußerst wertvoll, welche wie die vorliegende über die klassische Valenztheorie hinaus zu deren physikalischen Grundlagen vordringen. Der Verfasser behandelt seine Aufgabe als Chemiker, indem er das Erfahrungsmaterial seiner Wissenschaft in den Vordergrund stellt und dieses physikalisch interpretiert. Es ist dabei begreiflich, daß er an verschiedenen Stellen zu Folgerungen gelangt, die dem Physiker nicht unbedingt zulässig erscheinen. So ist z. B. nicht recht ersichtlich, wie die vom Verfasser häufig benutzte Vorstellung der „Lockerung" eines Paares von Bindungselektronen (S. 35, 108) unter Beibehaltung der antiparallelen Spinorientierung quantentheoretisch zu formulieren ist. Die Auffassung, daß die Wechselwirkung der Elek-

tronen bei der unpolaren Bindung kein typisch quantenphysikalisches, sondern ein im wesentlichen klassisch-elektrodynamisches Problem sei (S. 12, 112), ist zwar neuerdings auch von anderer Seite vertreten,[1]) aber auch bestritten worden.[2])

Solche und ähnliche Einwendungen setzen den Wert des Buches nicht im geringsten herab. Dieser beruht vielmehr darauf, daß darin der entschlossene Versuch gemacht worden ist, einen wesentlichen Teil des chemischen Erfahrungsmaterials auf seine physikalischen Ursachen zurückzuführen. Dem Chemiker ist mit den gegebenen Erklärungen, auch wenn sie stellenweise physikalisch unzulänglich sind, mehr als mit anderen gedient, die einwandfrei aber für ihn zu schwer verständlich sind. Der am Valenzproblem interessierte Physiker wird sich in erster Linie über die Darstellung des reichen Erfahrungsmaterials freuen, das er hier für seine Zwecke wohlgeordnet vorfindet. Beiden aber wird das Buch, ebenso wie bereits sein Vorläufer, zu einer gemeinsamen Diskussionsbasis verhelfen, von der aus die Klärung strittiger Fragen erfolgreich weiterzuführen ist.

Th. Förster.

Eingegangen am 4. Mai 1949.

[1]) Kossel, W., 2. Angew. Ch. A **59**, 125 (1947).
[2]) Förster, Th., 2. Angew. Ch. A **61**, 144 (1949).

Richter, Rudolf, **Einführung in die Zoologische Nomenklatur** durch Erläuterung der Internationalen Regeln. 2. umgearbeitete Auflage mit der „Offiziellen Liste zoologischer Gattungsnamen". Frankfurt a. M., Verlag von Waldemar Kramer, 252 S. 1948.

Die Fülle der Erscheinungsformen in der Zoologie (und Botanik) wird geordnet durch Einteilung in Arten, durch Zusammenfassung der Arten zu Gattungen, der Gattungen zu Familien und so fort zu immer höheren Kategorien, und zwar unter dem Gesichtspunkt, die Verwandtschaftsverhältnisse durch diese Ordnung darzustellen. Ein grundlegend wichtiges Hilfsmittel dieser Wissenschaft der Taxonomie ist die Nomenklatur, die Technik der Benennung von Arten, Gattungen, Familien usw. Diese Benennung soll international verständlich und so eindeutig sein, daß Verwechslungen nicht vorkommen können. Sie soll aber auch rationell sein und nicht mehr Aufwand erfordern, als diesem lediglich technischen Hilfsmittel unbedingt zugestanden werden muß. Die großen Schwierigkeiten, die „in der Sache und mehr noch in der individuellen und nationalen Psychologie" liegen, können nur durch international anerkannte Gesetze überwunden werden. 1905, also 147 Jahre nach der Begründung der binären Nomenklatur durch Linnaeus im Jahre 1758, wurden die „Internationalen Regeln der Zoologischen Nomenklatur" erstmals amtlich veröffentlicht. 147 Jahre herrschte ein „fröhliches Faustrecht", 43 Jahre bestehen sie; von diesen 43 Jahren ist allein 25 Jahre lang eine echte internationale Zusammenarbeit durch Krieg und Nachkriegspsychosen unmöglich gewesen. Trotzdem ist in den restlichen 18 Jahren internationaler Zusammenarbeit erstaunlich viel in dem Kampf gegen das vorher herrschende Chaos geleistet worden. Das ausgezeichnete Buch bringt eine klare Einführung in die Anwendung der Nomenklatur-Regeln, gibt nicht nur den anerkannten Wortlaut der „Internationalen Regeln", sondern kommentiert sie auch in präziser Weise und liest sich geradezu unterhaltend, was der Verfasser durch zahlreiche Beispiele, Belege und historische Notizen sehr geschickt zu erreichen weiß. So lernen wir zum Beispiel, daß der Terminus technicus „Genotypus" schon lange in der Nomenklatur verwendet wurde, bevor ihn die Genetik (mit anderer Bedeutung) übernahm. Fragen der Nomenklatur berühren jeden, der Tiere, an denen er wissenschaftlich arbeitet, nennen oder benennen muß, wenn auch den einen mehr, den anderen weniger. Wenn der Verfasser — in Übereinstimmung mit einer Entschließung des Internationalen Zoologenkongresses in Padua — fordert, daß jeder angehende Zoologe und Paläontologe wenigstens mit den Grundbegriffen der Nomenklatur bekanntgemacht werden sollte, so kann man ihm nur zustimmen. Die Hilfestellung dazu gibt er durch sein Werk nicht nur dem Anfänger, sondern auch dem, der Antwort auf spezielle Fragen sucht. Die hervorragende Ausstattung in Hinsicht auf Druck und Buchbinderarbeit verdient besonders hervorgehoben zu werden.

Göttingen. H.-J. Autrum.

Eingegangen am 30. April 1949.

Kappert, H., **Die vererbungswissenschaftlichen Grundlagen der Pflanzenzüchtung.** P. Parey, Berlin und Hamburg 1948. 252 S., 79 Abb. Preis 20,60 DM.

Bei dem derzeitigen Mangel an erbwissenschaftlichen Lehrbüchern ist es zu begrüßen, daß der Verfasser in einer völlig umgearbeiteten Fassung seines 1934 erschienenen Buches: „Grundriß der gärtnerischen Pflanzenzüchtung" ein Werk geschaffen hat, das nicht nur die Bedürfnisse der Pflanzenzüchter berücksichtigt, sondern auch mit Vorteil von allen an der Genetik interessierten Biologen benützt wird. Das Buch gibt einen kurzgefaßten Überblick über den derzeitigen Stand der Erbwissenschaft, wobei die Betonung besonders auf der Bastardanalyse der Pflanzen liegt und alle Anwendungsmöglichkeiten für die züchterische Praxis berücksichtigt werden. In diesem Gesamtrahmen beschränkt der Verfasser bewußt die Besprechung der Mutationsforschung und der Zytogenetik auf das Notwendigste, so daß auf diesen Gebieten sein Buch für den allgemein genetisch interessierten Biologen nicht an die Stelle eines Lehrbuches zu treten vermag. Erfreulich ist das wenn auch kurze Kapitel über die Wirkungsweise der Gene, das dazu dienen kann, den häufig allzusehr auf die Bewertung oberflächlicher Merkmale eingestellten Züchter einem physiologischen Verständnis der Merkmalsentstehung näherzubringen. Eine überraschend ausführliche Besprechung erfährt die plasmatische Vererbung. Das Hauptgewicht des Buches liegt aber auf der Behandlung der Bastardanalyse, die eine Erweiterung und Vertiefung erfährt, welche über das in den Lehrbüchern der Genetik übliche Maß hinausgeht. Es werden die komplizierteren Bastardspaltungen bis zur tetrahybriden Spaltung ausführlich besprochen, die Abwandlungen der Zahlenverhältnisse durch die verschiedensten Genwirkungen an Hand von Beispielen erläutert und auch das Verhalten der höheren Bastardgenerationen berücksichtigt. Die Spaltungen an polysomen (bis tetrasomen) und polyploiden (bis oktoploiden) Pflanzen werden an Hand mannigfacher Tabellen und Schemata geschildert. Weiterhin werden ausführlich die Kopplungen, die Abweichungen vom normalen Erbverhalten und besonders gründlich die fehlerkritische Bearbeitung der Spaltungszahlen behandelt (die Berechnung der Kopplungswerte erscheint — so ihre Behandlung überhaupt notwendig ist — etwas zu knapp gefaßt und ist ohne Vorkenntnisse kaum verständlich). Ein weiterer Vorzug des Buches ist, daß neben den klassischen Versuchen eine große Zahl instruktiver, aber noch wenig bekannter oder neuer Beispiele aus der pflanzlichen Genetik geschildert wird. Dabei ist es dem Verfasser geglückt, durch didaktisch geschickte Auswahl, durch knappe, aber klare Abfassung auf dem verhältnismäßig engen Raum von rund 230 Seiten eine Fülle von Material anzusammeln. Eine große Anzahl guter Abbildungen (Abb. 29 und 38 ließen sich vielleicht durch bessere ersetzen), instruktiver Schemata und Tabellen (S. 32 unten wäre eine umgekehrte Reihenfolge der Zahlen, bei Fig. 62/63 eine bessere Angleichung des Textes wünschenswert), ein verhältnismäßig reiches Literaturverzeichnis und ausführliches Autoren- und Sachregister erhöhen den Wert des Buches, dem eine weite Verbreitung zu wünschen ist.

In der Anordnung des Stoffes stellt Kappert bewußt das Kreuzungsexperiment an den Beginn der Ausführungen und leitet konsequent aus den Züchtungsergebnissen den Übertragungsmechanismus der Erbanlagen ab. Er folgt damit einem altbewährten Brauch, doch möchte der Referent die Frage aufwerfen, ob es bei dem heutigen Wissensstand nicht zweckmäßiger wäre, die Besprechung der stofflichen Grundlagen der Vererbung und ihres Verhaltens bei

der Weitergabe von Zelle zu Zelle und von Generation zu Generation an den Beginn zu stellen, von hier aus die Entstehung der Genotypen abzuleiten und schließlich von der Wirkungsweise der Gene ausgehend die Spaltungsverhältnisse der Phänotypen zu besprechen. Gerade dem Anfänger bereitet das Verständnis der verschiedenen Spaltungszahlen viele Schwierigkeiten und führt zu einem erheblichen Gedächtnisballast, was bei einer Ableitung aus den cytologisch feststellbaren Verteilungsmechanismen vermeidbar wäre. Selbst in einem Buche, in dem der Schwerpunkt auf der Besprechung der züchterisch-genetischen Analyse liegt, dürfte die vorgeschlagene Anordnung ohne Stofferweiterung möglich sein. Sie könnte sogar zu einer geschlosseneren Besprechung mancher Abschnitte führen, die so an ganz verschiedenen Stellen des Buches behandelt werden müssen (z. B. Geschlechtsvererbung, Spaltungen an polygenen, polysomen und polyploiden Pflanzen). Zweifellos sind aber mit einer solchen Neugliederung des Stoffes auch manche Schwierigkeiten und Risiken verbunden, die beim Einhalten des altbewährten Weges umgangen werden.

Weiterhin möchte der Referent anregen, in einer neuen Auflage auch die Populationsgenetik zu Wort kommen zu lassen. Züchtung ist letzten Endes experimentelle Phylogenie zum Nutzen des Menschen. Das Artbildungsproblem wird aber im Rahmen der reinen Genetik nicht erschöpfend behandelt, da sich die reine Genetik im wesentlichen nur mit der Entstehung und Bereitstellung der Genotypen beschäftigt. Ein wesentlicher Teil des Artbildungsprozesses beruht auf den gerade auch für den Züchter besonders wichtigen Selektions- und Isolationsmechanismen, deren experimentelle Analyse in der Populationsgenetik begonnen wurde. Wenn auch zur Zeit gerade auf botanischem Gebiet nur wenig einschlägige Untersuchungen vorliegen, so ist es doch wünschenswert, auf diese Zusammenhänge einzugehen, schon um weitere Untersuchungen auf pflanzenzüchterischem Gebiet anzuregen, die für Theorie und Praxis von größter Bedeutung wären.

P. Michaelis, Voldagsen.

Eingegangen am 7. April 1949.

Bünning, Erwin, **Entwicklungs- und Bewegungsphysiologie der Pflanze.** (Lehrbuch der Pflanzenphysiologie, 2. u. 3. Bd.) XII + 464 S., 404 Abb. Springer-Verlag, Berlin, Göttingen und Heidelberg 1948. 29,70 DM.

Der Verfasser hat im Jahre 1939 eine „Physiologie des Wachstums und der Bewegungen" erscheinen lassen als Teil eines Lehrbuches der Pflanzenphysiologie, für das Mothes die Stoffwechselphysiologie und F. v. Wettstein die Entwicklungsphysiologie übernehmen wollten. Nach dem Tode F. v. Wettsteins hat der Verfasser nun auch die Entwicklungsphysiologie geschrieben und mit einer Neubearbeitung seiner Wachstums- und Bewegungsphysiologie verbunden, was bei dem engen Zusammenhang beider Gebiete wohl nahelag. Damit haben wir vor allem wieder eine durchaus moderne Darstellung der Entwicklungsphysiologie, für die man dem Verfasser um so dankbarer sein muß, als in den „neueren" Physiologien von Kostytschew-Went und selbst von Boysen-Jensen der Nachdruck durchaus auf der Stoffwechselphysiologie liegt und die letzte ausführlichere Darstellung der Entwicklungs- und Bewegungsphysiologie von Jost 26 Jahre alt ist. Ein Vergleich beider Werke zeigt den Fortschritt unserer Erkenntnis in diesem Vierteljahrhundert, vor allem auf dem Gebiet der Wirkstoffe, des Determinationsproblems und der Reizphysiologie.

Übrigens trägt das Buch des Verfassers einen absolut persönlichen Stempel, wie das auch in gewissem Grade die Physiologie von Jost tut, wenn auch in durchaus anderer Weise. Bünning betrachtet in erster Linie die physikalischen Zustände und die chemischen Reaktionen in der Pflanzenzelle; er wäre „weitgehend befriedigt, wenn das (praktisch unerreichbar erscheinende) Ziel verwirklicht wäre, auch nur eine einzige Zelle irgendeines Organismus naturgesetzlich restlos zu verstehen" (S. 447). Vor den Augen Josts dagegen steht die lebende Pflanze, die keimt, treibt, blüht und fruchtet und wieder abstirbt, deren Verständnis allerdings ohne Physik und Chemie unmöglich ist. Bünning treibt entsprechend seinem Standpunkt mehr Analyse als Synthese, er beschreibt mit besonderer Vorliebe ausgesucht einfache Beispiele. Seiner Betrachtungsweise entspricht auch seine auf den ersten Blick etwas befremdende Anordnung des Stoffes, wobei er z. B. alle Lichtreizerscheinungen für sich behandelt, so daß nacheinander die Wirkungen des Lichtes auf Zellwand, Wachstum, Auslösung von Erregungen, dann Phototaxis, Lichtturgorreaktionen der Spaltöffnungen, Etiolement, Lichteinfluß auf Zellteilung u. a. m. geschildert werden. Diese Einteilung ist, wie er angibt, durch den Stand der Forschung gegeben; die ältere vierfache Gliederung in formative Reize, Tropismen, Nastien und Taxien sei heute überholt (S. 277). Der Referent glaubt, daß die Bünningsche Einteilung keineswegs durch den Stand der Forschung gegeben ist, sondern durch die ganz persönliche Betrachtungsweise des Verfassers. Man könnte auch heute noch etwa in der Weise Josts gliedern, müßte dann aber auch die Dinge mit Josts Augen sehen. Ob die neue Gliederung tatsächlich übersichtlicher als die ältere übliche Einteilung ist, möge dem Leser überlassen bleiben. Es stehen zwar alle Lichtreizwirkungen, die bei der älteren Darstellung an vier verschiedenen Stellen behandelt werden müßten, zusammen, aber dieser Vorteil ist damit erkauft, daß zugleich auch die heterogensten Dinge nebeneinanderkommen und ein und derselbe Vorgang, wie etwa die Auslösung von Erregungen, an den verschiedensten Stellen behandelt werden muß.

Wichtiger noch ist wohl ein anderer Punkt. Dem offensichtlichen persönlichen Interesse des Verfassers entsprechend sind manche, vor allem einfache Dinge, die allerdings vielfach grundlegend sein mögen, eingehend und mit aller Ausführlichkeit geschildert, wie etwa die Bildung von Blattmustern, die Lichtreizbarkeit von Pilobolus oder die Alles- oder-Nichts-Erregung. In solchen und ähnlichen Fällen nimmt auch vielfach die Darstellung noch hypothetischer Dinge einen breiten Raum ein. Andere Tatsachen aber, vor allem solche komplexer Art, wie etwa die wichtigen Vorgänge des Alterns und Absterbens, die Bildung verschiedener Blattformen, besonders bei Bäumen und Wasserpflanzen, das Gallenproblem u. a. m. — lauter Dinge, die auch schwer in die Gliederung des Buches passen —, werden vielfach bedauerlich kurz abgetan. Dasselbe gilt auch für einige Tropismen, wie Chemotropismus und Hydrotropismus, und manches andere, das in der Natur sicherlich wichtig, in seiner Entstehungsweise aber noch nicht näher bekannt ist. Aber der Verfasser erstrebt offenbar viel weniger die Schilderung des Lebens der Pflanze in der Natur als die Darlegung grundlegender physiologischer Vorgänge. Allerdings wird dieser extreme Standpunkt wohltuend gemildert durch die Einfügung zahlreicher schöner Beobachtungen in den Tropen, die der Verfasser offenbar großenteils selbst in Sumatra gemacht hat.

So trägt das Buch durchaus die persönliche Note seines Verfassers. Selbstverständlich ist sein Standpunkt, alles vom Einfachen her zu sehen, vollkommen berechtigt, wenn auch einseitig — aber dasselbe gilt auch von der entgegengesetzten Betrachtungsweise, die etwa vom Wachsen, Blühen und Altern oder der harmonischen Ordnung des Organismus ausgeht. Der Verfasser hat recht, wenn er den Studenten ermahnt, sich nicht mit *einer* Quelle zu begnügen (S. VI). Das gilt vor allem auch für dieses Buch. Aber damit soll Wert und Bedeutung des Buches nicht verkleinert werden.

Die Darstellung ist flüssig, setzt allerdings bereits ein nicht unerhebliches Maß von Kenntnissen voraus, über das der Durchschnittsstudent sicher oft nicht verfügt. Gelegentlich stört auch einmal ein Versehen in der Darstellung das Verständnis. Bei einer Neuauflage wäre auch eine Erweiterung des Literaturverzeichnisses wünschenswert, damit der Leser imstande wäre, zu erfahren, auf welchen Originalarbeiten die Angaben des Textes beruhen, was jetzt nicht immer möglich ist.

H. Söding.

Eingegangen am 6. April 1949.

HANDBUCH
der analytischen Chemie

Bearbeitet von zahlreichen Fachgelehrten.

Herausgegeben von Prof. Dr. R. Fresenius †, Wiesbaden,

und Prof. Dr. G. Jander, Greifswald.

---

2. Teil Qualitative Nachweisverfahren

Band Ia. **Elemente der ersten Hauptgruppe** (einschl. Ammonium).
Wasserstoff. Lithium. Natrium. Kalium. Ammonium. Rubidium. Caesium.
Mit 80 Abbildungen. XII, 222 Seiten. 1944. DMark 30,-; geb. DMark 33,-.

Band III. **Elemente der dritten Gruppe.**
Bor. Aluminium. Gallium. Indium. Thallium. Scandium. Yttrium. Elemente der seltenen Erden (Lanthan bis Cassiopeium). Actinium.
Mit 13 Abbildungen und 1 Tafel. XII, 196 Seiten. 1944. DMark 27,-.

Band VI. **Elemente der sechsten Gruppe.**
Sauerstoff. Schwefel. Selen. Tellur. Chrom. Molybdän. Wolfram. Uran.
Mit 61 Abbildungen. XII, 267 Seiten. 1948. DMark 39,-.

3. Teil Quantitative Bestimmungs- und Trennungsmethoden

Band Ia. **Elemente der ersten Hauptgruppe** (einschl. Ammonium).
Lithium. Natrium. Kalium. Ammonium. Rubidium. Caesium.
Mit 31 Abbildungen. XV, 404 Seiten. 1940. DMark 51,-.

Band IIa. **Elemente der zweiten Hauptgruppe.**
Beryllium. Magnesium. Calcium. Strontium. Barium. Radium u. Isotope.
Mit 13 Abbildungen. XI, 446 Seiten. 1940. DMark 57,-.

Band IIb. **Elemente der zweiten Nebengruppe.**
Zink. Cadmium. Quecksilber.
Mit 46 Abbildungen. XI, 587 Seiten. 1945. DMark 70,-; geb. DMark 72,50.

Band III. **Elemente der dritten Gruppe.**
Bor. Aluminium. Gallium. Indium. Thallium. Scandium. Yttrium. Elemente der seltenen Erden (Lanthan bis Cassiopeium). Actinium und Mesothor 2.
Mit 37 Abbildungen. XI, 852 Seiten. 1942. Vergriffen.

Band VIIIa. **Elemente der achten Hauptgruppe.**
Edelgase: Helium. Neon. Argon. Krypton. Xenon. Radon und Isotope.
Mit 53 Abbildungen. XII, 120 Seiten. 1949. DMark 19,60.

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

Debyeflex Röntgenapparat

für Feinstruktur-Untersuchungen

Aufnahmegeräte

der verschiedensten Art

Rich. Seifert & Co.

Röntgenwerk · Hamburg 13

Lichtelektrisches

Becherglas-Kolorimeter

mit Reagenzglaseinsatz

kurzfristig lieferbar;

ebenso **Photoelemente, Luxmeter** und **Ultra-Relais.**

Dr. B. Lange, Bln.-Zehlendorf,

Hermannstr. 14/18 Tel.: 848122

J.D.MÖLLER WEDEL/HOLST. GMBH.

MESSOPTIK

Linsen, Prismen, Plan- und Planparallel-Platten

HOCHLEISTUNGSSPIEGEL

plan und sphärisch, für Total- und Teilreflexion mit genauen Durchlässigkeitswerten, mechanisch und thermisch fest

KLEINSTSPIEGEL UND KLEINSTPRISMEN

in jeder Ausführung und in Meßoptikqualität

VERGÜTUNG OPTISCHER GLÄSER

KREIS- UND LÄNGS-PRÄZISIONSTEILUNGEN

Glaskreise, Okular- und Objektmikrometer

MESSGERÄTE

Kollimatoren, Dynameter, Gonio-Spektrometer, Spektroskope, Brennweitenmesser, Scheitelbrechweitmesser

Dr. Johannes Heidenhain (13b) St. Georgen bei Traunstein/Obb
Telefon: Traunwalchen 96 oder 97

Spezialfabrik für Präzisionsteilungen

(Längen- u. Kreisteilungen) Mikroteilungen Metall- u. Glasteilungen fotochemisch und geätzt, Strichbilder und Testfiguren aller Art

Über den Gehalt von Vitamin C in Pflanzen

Von **A. Seybold** und **H. Mehner**

(Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften. Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse. Jahrgang 1948, 10. Abhandlung)

III, 132 Seiten. 1949. DMark 9,60

Springer-Verlag / Berlin · Göttingen · Heidelberg

Soeben erschien:

Taschenbuch für Chemiker und Physiker

Herausgegeben von Dr.-Ing. **Jean D'Ans**
Professor an der Technischen Universität Berlin-Charlottenburg

und

Dr. phil. **Ellen Lax,** Physikerin in Berlin

Mit 350 Abbildungen und graphischen Darstellungen. Zweite, berichtigte Aufl. VIII, 1896 Seiten. 1949. Ganzl. DMark 36,-.

Das Taschenbuch für Chemiker und Physiker ist seit Jahren weiten Kreisen von Wissenschaftlern und Praktikern zu einem unentbehrlichen Vademecum für die Laboratoriumspraxis geworden. Da eine Neubearbeitung, die den praktischen Bedürfnissen und der wissenschaftlichen Entwicklung Rechnung trägt, längere Vorbereitungsarbeit erfordert, wird den vielfach geäußerten dringenden Entwürfen durch Vorlage eines berichtigten Neudruckes entsprochen.

Inhaltsübersicht: 1. Maßsystem und Stoffanordnung. - 2. Allgemeine Konstanten und Angaben über Atome und Moleküle. - 3. Makroskopische Zahlenwerte. - 4. Astrophysik, Geophysik, Geochemie. - 5. Eigenschaften von Werkstoffen. - 6. Meßtechnische Daten. - 7. Analyse. - 8. Mathematische Tabellen. - 9. Sachverzeichnis.

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

Veröffentlicht unter Zulassungs-Nr. 48 der Britischen Militärregierung. - Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: Professor Dr. Arnold Eucken, Göttingen, Bürgerstraße 50. - Für den Anzeigenteil verantwortlich: Hans-Georg Halfter, Berlin W 35, Reichpietschufer 20. - Druck: A. Bagel, Düsseldorf. - Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg. - Printed in Germany.